

---

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta textilní

**Vliv vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií  
na hodnoty paropropustnosti  
měřené na přístroji typu Skin Model**

**Effect of air gap between skin and textiles to  
the value of vapor permeability  
measured on the device type of Skin Model**

KHT - 072

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Klára WALLACHOVÁ**  
Osobní číslo: **T09000191**  
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**  
Studijní obor: **Produktový management - Textil**  
Název tématu: **Vliv vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií na hodnoty paropropustnosti měřené na přístroji typu Skin Model**  
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte základní poznatky o termofyziologickém komfortu textilií a způsobech hodnocení jejich tepelného a výparného odporu. Současně prostudujte teoretické poznatky o vlivu vlhkosti na tepelně izolační vlastnosti a paropropustnost textilií.
2. U vybraných vzorků textilií v simulovaných podmínkách použití, proměřte na přístroji PERMETEST jejich výparný odpor a propustnost pro vodní páry, jednak v suchém stavu, dále pak alespoň v šesti stupních vlhkosti. Zjistěte ultrasuché hmotnosti proměřovaných vzorků.
3. V simulovaných podmínkách použití proměřte na přístroji PERMETEST vliv mezery mezi měřenou textilií a měřicí hlavicí přístroje, a to v rozsahu 2 - 10 mm na hodnoty výparného odporu a paropropustnosti, jednak v suchém stavu, dále pak alespoň v šesti stupních vlhkosti.
4. Vyhodnoťte vliv struktury, složení a zejména pak vliv mezery mezi měřenou textilií a měřicí hlavicí přístroje na výparný odpor a paropropustnost. Získané údaje porovnejte. Naměřené hodnoty měření zpracujte statisticky a zobrazte graficky. Výsledky z přístroje PERMETEST zdůvodněte.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

**50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce:

**tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Hes L., Sluka P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, 2005**

**Kuneš J. a kol. : Tepelné bariéry, Academia 2003**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Iveta Vyskočilová**

Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce:

**29. října 2010**

Termín odevzdání diplomové práce:

**2. května 2011**

  
prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.

děkan



  
Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.

vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2010

## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 29.4.2011

Podpis

## **Poděkování**

Ráda bych touto formou poděkovala Ing. Ivetě Vyskočilové za odborné vedení, za poskytnuté zkušenosti, za ochotu se kterou přistupovala k mé práci, Prof. Ing. Lubošovi Hesovi, DrSc. za poskytnuté cenné rady. Také bych chtěla poděkovat mému příteli, který mi byl při psaní této práce velikou oporou. Dále mé poděkování patří моým rodičům, bez jejichž podpory při studiu by tato práce nikdy nevznikla.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá vlivem vlhkosti a vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií na hodnoty propustnosti pro vodní páry. V práci se nacházejí základní poznatky o termofyziologickém komfortu, jako je přenos tepla mezi člověkem a okolím, a odvod vlhkosti z povrchu lidského těla. Dále je velká část této práce věnována metodám měření termofyziologického komfortu. V experimentální části této práce bylo měřeno na přístroji Permetest. Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit vliv vzduchové mezery u měřených materiálů v šesti stupních vlhkosti na celkový chladicí tepelný tok a celkový výparný odpor. Poté vyhodnotit vliv vzduchové mezery na chladicí tepelný tok a výparný odpor samotné textilie. Dílčím cílem bylo zhodnotit vliv materiálového složení vzorků a vazby na chladicí tepelný tok textilie a výparný odpor textilie.

## **Abstract**

This diploma thesis is concerned with influence of water content and air space between skin and a textile over permeability values. There are basic data about thermophysiological comfort as a warm transport between men and their surroundings or dewatering from a human body surface. Moreover a large part of this work deals with the measure methods of the thermophysiological comfort. In the experimental part the values were measured with the help of the Permetest machine. The aim was to analyse the air space influence of measured materials over summary coolant heat flow and evaporative resistance under the conditions of six degrees of dampness, then to analyse the air space influence over coolant heat flow and evaporative resistance of the textile itself. Partial aim was to evaluate material sample structure and relation to coolant heat flow and evaporative resistance of a textile.

## **Klíčová slova**

- propustnost pro vodní páry
- výparný odpor
- přístroj Permetest
- mezikruží
- termofyziologický komfort

## **Keywords**

- permeability to water vapor
- evaporative resistance
- device Permetest
- ring
- thermo-physiological comfort

## Obsah

Úvod.....	10
<b>1. Teoretická část .....</b>	<b>11</b>
1.1 Působení teploty na lidské tělo .....	11
1.2 Termoregulace .....	12
1.3 Vliv teploty prostředí a doby pobytu v něm na lidské tělo .....	12
1.3.1 Vnitřní a vnější tepelná bariéra .....	14
1.4 Přenos tepla mezi člověkem a okolím .....	15
1.4.1 Přenos tepla kondukcí .....	15
1.4.2 Přenos tepla konvekcí .....	17
1.4.3 Přenos tepla radiací .....	19
1.4.4 Přenos tepla evaporací .....	20
1.4.5 Přenos tepla respirací .....	20
1.5 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla .....	20
1.5.1 Difúzní odvod vlhkosti .....	21
1.5.2 Kapilární odvod vlhkosti .....	22
1.5.3 Sorpční odvod vlhkosti .....	23
1.6 Metody měření termofyziologického komfortu .....	23
1.6.1 Gravimetrická metoda.....	24
1.6.2 Metoda Dreo .....	25
1.6.3 Skin model .....	26
1.6.3.1 Zkouška za stacionárních podmínek.....	26
1.6.3.2 Zkouška za nestacionárních podmínek.....	27
1.6.4 Přístroj PERMETEST .....	28
1.6.5 Tepelný manekýn.....	31
1.6.6 Potící torzo .....	31
<b>2. Řešení .....</b>	<b>33</b>
<b>3. Experimentální část .....</b>	<b>38</b>
3.1 Měření celkového tepelného toku .....	38
3.2 Měření tepelného toku samotné textilie .....	39
3.3 Simulace vzduchové mezery .....	40
3.4 Použité materiály .....	42
3.5 Příprava vzorků pro měření .....	43
3.6 Měřicí přístroj Permetest .....	43
3.6.1 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot.....	45
3.7 Popis experimentu.....	46
3.7.1 Chladicí tepelný tok pokožky .....	47
3.8 Vyhodnocení naměřených hodnot .....	48
3.8.1 Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na RWVP a RET u materiálu bavlna – polypropylen .....	48
3.8.2 Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na RWVP a RET u materiálu bavlna - polyester.....	51
3.8.3 Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na RWVP a RET u materiálu 100% bavlna.....	53
3.8.4 Vliv materiálu na hodnoty RWVP .....	55
3.8.5 Vliv vazby na hodnoty RWVP .....	61
3.8.6 Efekt vlhkosti a tloušťky vzduchové mezery na RWVP a RET .....	62
3.8.7 Stanovení chladicího tepelného toku pokožky .....	65
<b>4. Závěr .....</b>	<b>68</b>
<b>5. Použitá literatura .....</b>	<b>70</b>
<b>6. Seznam příloh.....</b>	<b>72</b>



## Seznam použitých symbolů

$\alpha$	koeficient přestupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$\alpha_a$	absorbance	[bezrozměrné]
$\lambda$	tepelná vodivost	[W/m.K]
$\lambda_v$	délka vlny	[m]
$\rho$	reflektance	[bezrozměrné]
$\tau$	doba expozice	[hod.]
$\tau_t$	transmitance	[bezrozměrné]
$\Delta P$	spád parciálního tlaku páry	[Pa]
B	kepr lomený ve střídě	
CO	bavlna	
CV	variační koeficient	[%]
d	rozměr objektu	[m]
f	frekvence	[Hz]
$G_0$	hmotnost před expozicí	[kg]
$G_1$	hmotnost po 6-ti hodinové expozici	[kg]
h	tloušťka textilní vrstvy	[m]
HB	hrotový kepr	
$h_m$	Tloušťka mikroklimatu	[m]
p	relativní propustnost pro vodní páry	[%]
$P_a$	parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru	[Pa]
$P_{abs}$	paropropustnost absolutní	[kg/m <sup>2</sup> .hod.]
$P_k$	parciální tlak páry u pokožky	[Pa]
PL	polyester	
$P_m$	nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice	[Pa]
$P_o$	parciální tlak páry v okolním vzduchu	[Pa]
PP	polypropylen	
$P_{rel}$	relativní paropropustnost	[%]
q	tok tepla	[W/m <sup>2</sup> ]

$q_0$	tepelný tok měřený bez vzorku	[W/m <sup>2</sup> ]
$q_v$	tepelný tok měřený se vzorkem	[W/m <sup>2</sup> ]
$R_{ct}$	tepelný odpor	[m <sup>2</sup> .K/W]
$Re$	Reynoldovo číslo	[bezrozměrné]
$R_{et}$	výparný odpor	[m <sup>2</sup> .Pa/W]
$RWVP$	chladicí tepelný tok	[%]
$s$	směrodatná odchylka	
$t_1$	teplota vnější vrstvy oděvu	[°C]
$t_a$	teplota vzduchu proudícího kanálem	[°C]
$t_k$	teplota pokožky	[°C]
$t_m$	teplota povrchu měřicí hlavičky	[°C]
$t_o$	teplota okolí	[°C]
$t_{sk}$	teplota pokožky	[°C]
$U$	vlhkost	[%]
$\nu$	dynamická viskozita tekutiny	[m <sup>2</sup> /s]
$\bar{x}$	průměr	
$Z$	kepr pravého směru	

## Úvod

V dnešní době, kdy je trh přesycen výrobky a dává nám možnost výběru, je důležité vybrat si tak, aby výrobek co nejlépe vyhovoval našim požadavkům a necítili jsme se při jeho nošení diskomfortně. Dříve se kladl důraz především na funkčnost oděvů u textilních výrobků pro sport. V dnešní době se pracovní nasazení člověka zvyšuje a je důležité, aby oděv poskytl svému nositeli vysoký stupeň komfortu v práci, doma, při stresových situacích, či při různých vlivech klimatu. Díky tomu zaznamenalo zkoumání komfortních vlastností oděvních materiálů v poslední době stoupající zájem. V současné době tak existují vyspělé metody a přístroje pro hodnocení komfortu textilií.

Tato práce se v teoretické části zabývá obecně termoregulací těla. Dále seznámí čtenáře o přenosech tepla mezi člověkem a okolím, o odvodu kapalné vlhkosti (potu) z povrchu lidského těla. Nemalá část této práce se také zabývá metodami měření termofyziologického komfortu. Termofyziologický komfort oděvů, lze charakterizovat pomocí základních parametrů a to propustností pro vodní páry, tepelného a výparného odporu. Jde v podstatě o míru propouštění tepla a vlhkosti od těla, což záleží na vlastnostech dané textilie.

V praktické části byly tyto základní parametry měřeny na přístroji Permetest. Pro měření byly použity textilie s materiálovým složením 100% bavlna, bavlna – polyester a bavlna – polypropylen, s vazbami kepr hrotový, kepr lomený ve střídě a kepr pravého směru. Materiály byly měřeny v suchém a mokrému stavu.

V práci je řešen vliv vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií na hodnoty propustnosti pro vodní páry. V případě mokré textilie je řešen rozdíl chladícího efektu pocitovaného člověkem, pokud je textilie přímo na pokožce a pokud je v určité vzdálenosti od ní.

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv vzduchové mezery u měřených materiálů v šesti stupních vlhkosti na celkový chladicí tepelný tok a celkový výparný odpor. Poté vyhodnotit vliv vzduchové mezery na chladicí tepelný tok a výparný odpor samotné textilie. Dílčím cílem bylo zhodnotit vliv materiálového složení vzorků a vazby na chladicí tepelný tok textilie a výparný odpor textilie.

# 1. Teoretická část

## 1.1 Působení teploty na lidské tělo

Teplota má mimořádný vliv na lidské tělo, ať už z hlediska biologického, či fyziologického.

Podle změn teploty se vytváří určitý teplotní rozdíl mezi vnitřkem organismu a jeho povrchem. Rozeznáváme tedy teplotu tělesného jádra a teplotu povrchu těla. Teplotou tělesného jádra je myšlena teplota vnitřních orgánů a tkání.

Za normálních podmínek okolního prostředí, při ustálené dynamické rovnováze a vytváření tepla je určena tělesná teplota v rozmezí  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , při okolní teplotě  $20^{\circ}\text{C}$  je vnitřní teplota  $36,8^{\circ}\text{C}$ , v podkoží  $36,5^{\circ}\text{C}$  a v kůži  $35,2^{\circ}\text{C}$  [1].

Důležitou roli v lidském těle hrají buněčné enzymy, což jsou proteinové molekuly schopné katalýzy chemických reakcí, jež zvyšují aktivitu těchto reakcí. Metabolické postupy s pomocí těchto enzymů udržují v tělesném jádře optimální teplotu asi  $37^{\circ}\text{C}$ . Pouze při této teplotě probíhají harmonicky různé životní funkce. Jestliže je tělesná teplota příliš odlišná od optimální teploty, svědčí to o nemoci, neobvyklé aktivitě, extrémních vnějších, či jiných podmínkách, jež mohou poškodit živou tkáň. Platí, že vnitřní teplota organismu zůstává neměnná, jestliže je množství tepla vyprodukovaného tělem rovno teple odevzdanému do okolního prostředí.

Tělesná teplota obecně není zcela stejná, liší se podle různých míst na těle a i v těchto místech kolísá v závislosti na okolních podmínkách a celkovému fyziologickému stavu. Nejvyšší teplotu naměříme na nejlépe prokrvených částech těla, což je teplota  $34 - 36^{\circ}\text{C}$ . Nejvyšší teplota pokožky  $35 - 36^{\circ}\text{C}$  je na dobře prokrvených částech těla jako je hlava břicho a prsa. Na okrajových částech těla jako jsou ruce a nohy naměříme teplotu pokožky asi  $29 - 31^{\circ}\text{C}$ . Nejchladnějšími částmi jsou špička nosu, ušní lalůčky a špičky prstů s teplotou  $23 - 28^{\circ}\text{C}$ . Teplota není v průběhu dne stejná. Nejnižší teplotu naměříme ve spánku, o málo vyšší ve stavu bdělosti a nejvyšší ve stavu stoupající činnosti organismu.

V podmínkách kdy organismus nemusí regulovat teplotu těla, nedochází k termoregulaci. Při adekvátním prokrvení organismu nedochází k pocení a ani nenastává pocit chladu. V tuto chvíli se člověk nachází ve stavu, ve kterém vydrží pracovat neomezeně dlouho, je to stav tepelné pohody a fyzikální harmonie mezi člověkem a okolím [2].

## 1.2 Termoregulace

Termoregulace lidského těla má za úkol zejména udržovat vnitřní teplotu těla v určitém teplotním intervalu kolísající v rozmezí  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  okolo průměrné hodnoty  $36 - 37^{\circ}\text{C}$ . Toto kolísání způsobují vnitřní a vnější vlivy. Určité nepatrné odchylky v termoregulačním systému jsou dány u lidí individuálními předpoklady. Překročením uvedených teplotních hodnot nastává porušení termoregulačního cyklu s dopady na psychický a fyziologický stav člověka, jak je uvedeno v kapitole 1.2..

Organismus člověka je samoregulační systém, pro udržování vnitřní teploty těla pracuje na principu rovnováhy mezi množstvím tepla odevzdaného do vnějšího prostředí a množstvím tepla vytvořeného organismem.

Termoregulační centrum je řízeno centrálním nervovým systémem, který udržuje tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické cykly. Rozlišujeme termoregulaci chemickou a fyzikální.

Chemická termoregulace představuje látkovou výměnu a tedy tvorbu tepla [2]. Zde je přímá závislost na fyzickou zátěž organismu. Čím více budeme fyzicky organismus zatěžovat, tím více vytváříme tepla.

Fyzikální termoregulací míníme tvorbu a výdej tepla. Skládá se z jednotlivých odvodů tepla z organismu.

## 1.3 Vliv teploty prostředí a doby pobytu v něm na lidské tělo

Veliký vliv na psychický a fyziologický stav člověka mají různé teploty vnějšího prostředí, jak je uvedeno na obr.1. Překročení určitých teplotních a časových intervalů vede k narušení termoregulačního systému těla.

Pokud budeme tedy teplotu zvyšovat nad teplotu optimální a tedy teplotu tepelného komfortu, budeme se nejdříve nacházet v tzv. mezním stavu, vyvolávající tepelný stres, projevující se u člověka únavou a vnitřním pocitem neklidu. Zde pro ochranu postačí oblek o malé tepelné vodivosti a velké odpařovací propustnosti.

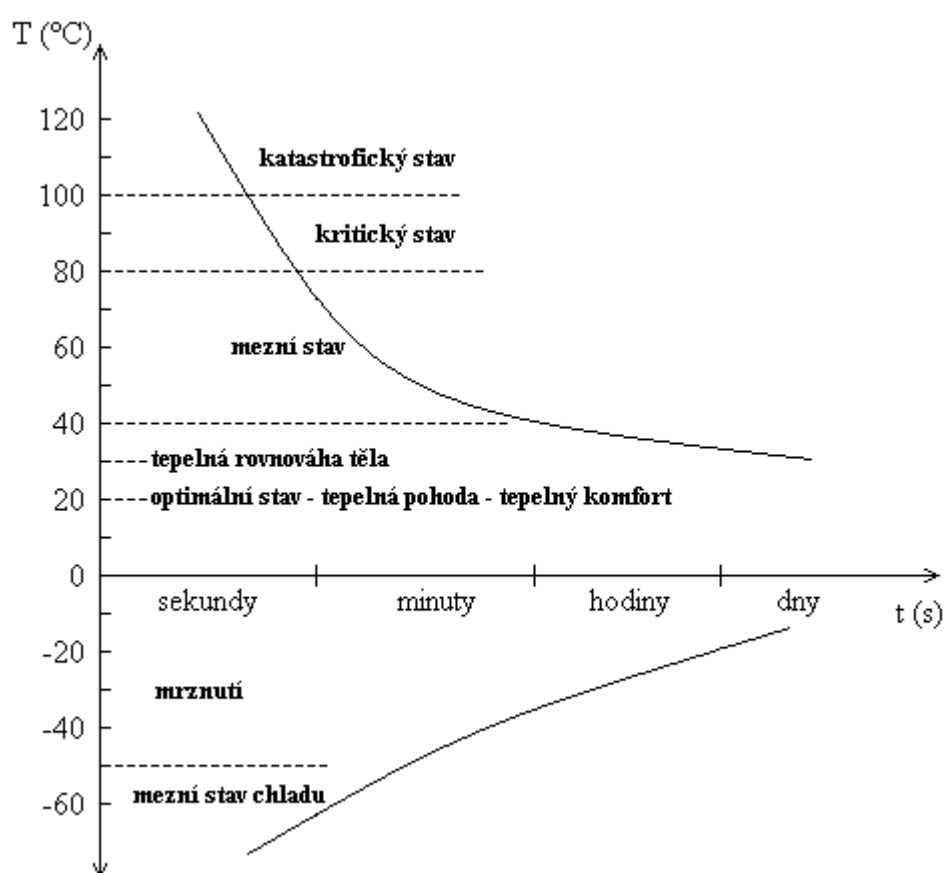
Pokud tepelné zatížení těla trvá, poruchy fyziologické činnosti se stupňují, čímž se dostáváme do stavu kritického, kde nastává točení hlavy, mdloby, následkem tohoto tepelného diskomfortu je tepelný kolaps. Ochranu vytvoří skafandr.

Při dalším působení tepelného zdroje nebo při jeho nadměrné intenzitě dochází k bolestivému pocitu, jenž je očividný vznikem popálenin, při působení tepelného

zdroje delší dobu, vznikají popáleniny vyšších stupňů. V tomto případě se volí jako ochrana speciální ochranné prostředky.

Pokud budeme teplotu naopak snižovat, dostáváme se do stavu mrznutí, kde dochází k pocitu zimy s následky nevolnosti. Pro ochranu lze použít oblek o malé tepelné propustnosti.

Při vyšším snížení teploty nastává mezní stav chladu, který má za následek pocity bolesti z omrzlin. V tomto případě pomůže speciální ochranný oblek. Vše je uvedeno na obr. 1 níže.



Obr. 1: Vliv teploty a času ve vnějším prostředí na lidský organismus [3]

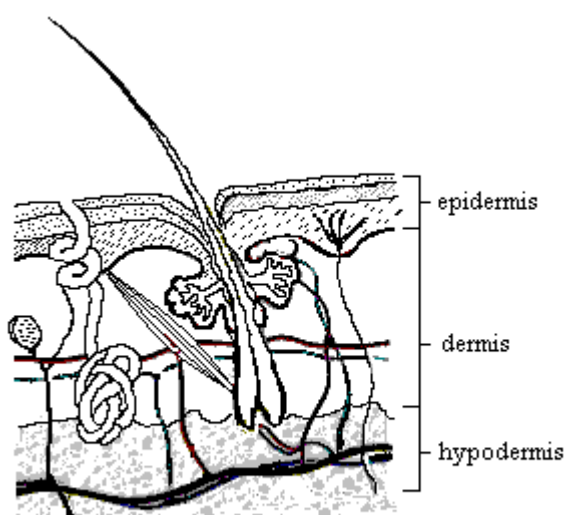
Porušení termoregulačního systému v těle je vyvoláno selháním vnitřní biologické tepelné bariéry, která nestačí odvést přebytek tepla pocením, či jinými způsoby a teplo se odvádí pouze krví, jejíž teplota velice rychle narůstá, čímž dojde k překročení horní mezní teploty, na niž je nastavený termoregulační systém a dochází k rozkladu jeho funkce. Podobným způsobem funguje i ochlazování lidského těla.

Významnou roli v ochlazování a ohřívání těla hraje vnější tepelná bariéra, čímž je myšlen speciální ochranný oděv, který se vyznačuje malou tepelnou vodivostí a vysokou odpařovací propustností v případě ohřevu, v opačném případě se ochranný oděv vyznačuje malou tepelnou propustností [3].

### 1.3.1 Vnitřní a vnější tepelná bariéra

*Vnitřní tepelná bariéra* slouží jako přirozená bariéra a s vnější tepelnou bariérou slouží jako ochrana celého těla před chladem i teplem. Obě bariéry si lze představit jako proměnné tepelné odpory sloužící k řízení tělesné teploty [3].

Pod vnitřní tepelnou bariérou si můžeme v lidském těle představit lidskou kůži. Kůže se skládá z vnější povrchové vrstvy zvané epidermis (pokožka), z vrstvy, která je nazývána dermis (kožní vrstva) a z vrstvy podkožní hypodermis viz. obr. 2



Obr. 2: Schéma anatomické struktury kožních vrstev [3]

Pokožka epidermis je tvořena buňkami dlaždicovitými, které jsou v horních vrstvách zrohovatělé, tvoří vrstvu rohovou, která se postupně neviditelně odlupuje a je doplňována buňkami vrstvy zárodečné. Tato vrstva se skládá z buněk, které se dělí a vytlačují starší buňky k povrchu [4]. Pokožka epidermis se vyznačuje vysokým tepelným odporem a přenos tepla je vedením.

Dermis, neboli vlastní kožní vrstva, obsahuje krevní cévy, nervy, potní žlázy, smyslové receptory tepla a chladu, receptory tlaku, dotyku, bolesti apod. Přenos tepla je tu konvekce a vedení. Tento systém potních žláz vyúsťuje přes epidermis k povrchu těla

a zajišťuje tak přenos tepla pocením a vypařováním. Kožní vrstva tvoří velice důležitou část termoregulačního systému.

Hypodermis je nejspodnější podkožní vrstva, která obsahuje tukovou a pojivovou tkáň, připojující se ke spodní svalovině. Přenos tepla je tvořen zejména vedením a vyšším tepelným odporem [3].

*Vnější tepelná bariéra* je vytvořena oblečením. Vzniká tak tepelný odpor mezi okolím a povrchem těla. Oděv jako vnější umělá tepelná bariéra by měla disponovat vlastnostmi jako je pórovitost, tepelná prostupnost, barva a dalšími vlastnostmi, pro vedení tepla a jeho přestup konvekcí, radiací a vypařováním. Oděv má významný podíl na udržování stálé tělesné teploty. Je-li tělo v tepelné rovnováze tzn. v klidu, při teplotě od 25°C – 35°C, potom u člověka bez oděvu odchází přibližně čtvrtina až třetina tepla vypařováním, zbytek konvekcí a radiací. Vnější tepelná bariéra může být neměnná, nebo ve speciálních extrémních podmínkách, může být použit skafandr s řízeným ochlazováním, či ohřevem. Pro práci za vysokých, či nízkých teplot jsou používány speciální ochranné oděvy [3].

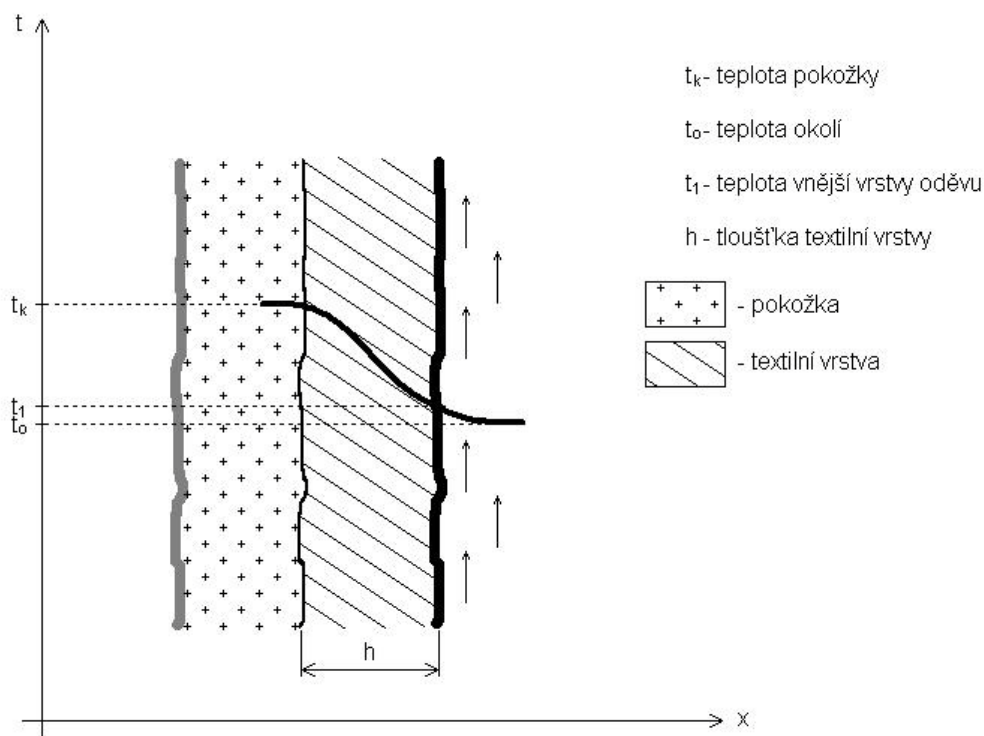
## **1.4 Přenos tepla mezi člověkem a okolím**

Teplo mezi člověkem a vnějším prostředím se může přenášet různými fyzikálními způsoby. První ze způsobů je kondukcí, dále je to konvekcí, radiací, evaporací a respirací [2].

### **1.4.1 Přenos tepla kondukcí**

Vedení tepla, neboli kondukce obecně nastává při dotyku s látkami pevného, kapalného, či plynného charakteru. Jde o přenos tepla chodidly, dotykem hýžděové části při sezení, či celé zadní části při spánku, či při kontaktu těla s vnější tepelnou bariérou.





Obr. 3: Přenos tepla vedením [2]

Přenos tepla vedením se vyjadřuje pomocí Fourierova zákona, který zahrnuje tok tepla  $q$  [W/m<sup>2</sup>], tepelnou vodivost  $\lambda$  [W/m\*K] a teplotní gradient  $\Delta t/\Delta x$ . [2]

$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (1)$$

Tepelná vodivost je schopnost daného materiálu vést teplo a ta je rozdílná u různých druhů materiálů. Klidný vzduch při teplotě 20°C vykazuje tepelnou vodivost 0,026 W/m\*K. Vodivost vody je 25x vyšší, tedy 0,6 W/m\*K. Tento fakt udává, že pokud je materiál vlhký, vykazuje vyšší tepelnou vodivost. Tepelná vodivost představuje rychlost, s jakou se teplo šíří z teplejší části do části chladnější. Rychleji proto ztrácíme teplo od těla a tento stav je tedy nežádoucí.

Při přenosu tepla kondukcí je dále důležitý vztah pro tepelný odpor  $R$  [m<sup>2</sup>\*K/W]. Tepelný odpor závisí na tloušťce materiálu  $h$  [m] a již zmíněné tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m\*K]. Platí, že čím má textilie větší tloušťku, je schopna udržet více tepla, má tedy vyšší tepelný odpor. Pro tepelný odpor platí vztah: [2].

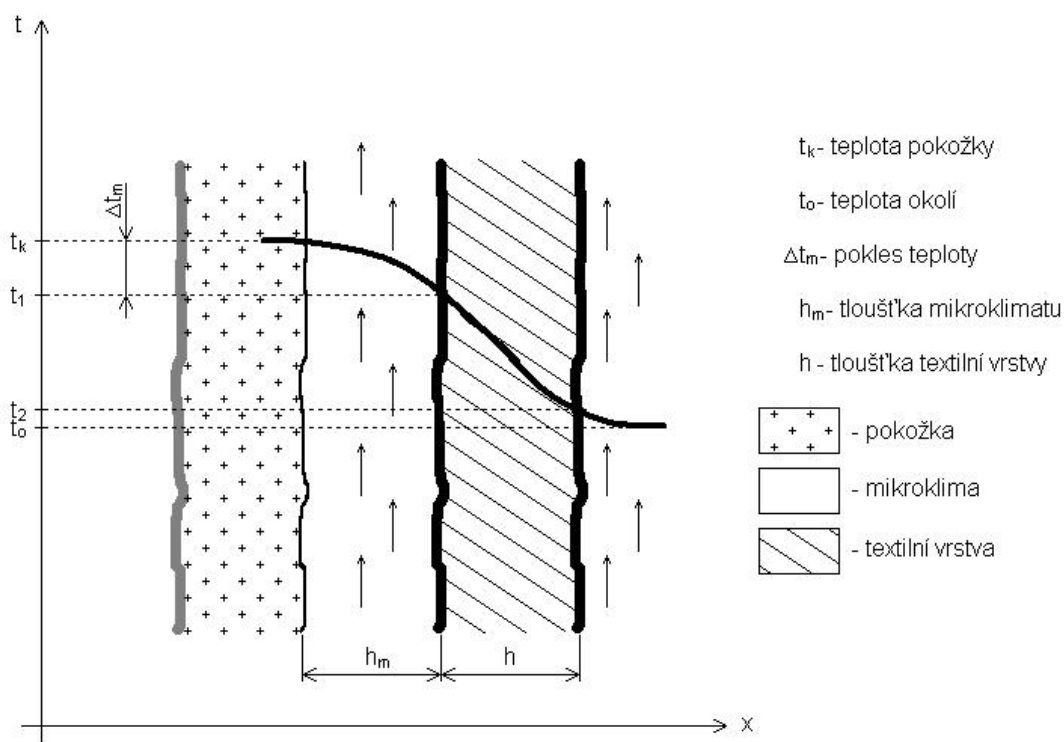
$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

Pokud má osoba oblečena více vnějších tepelných bariér, musíme jednotlivé tepelné odpory vrstev sčítat, a to i vrstvy vzduchové. Pro celkový tepelný odpor platí:

$$R_{CEL} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots \quad (3)$$

#### 1.4.2 Přenos tepla konvekcí

Přenos tepla konvekcí, je přenos tepla prouděním, tzn. přenos tepla je umožněn molekulami tekutiny (vody), nebo plynu. Konvekce představuje významnější a účinnější přenos tepla mezi člověkem a okolím než kondukce. Teplo je přenášeno částicemi tekutin pohybujícími se rychlostí  $v$  [m/s]. Pokud se tekutina pohybuje, potom se rychleji pohybují molekuly kolem daného objektu a teplo se rychleji přenáší [5].



Obr. 4: Přenos tepla prouděním [2]

Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva o určité tloušťce a zde se vytváří teplotní spád. Tento teplotní spád je důsledkem tzv. vnějšího tepelného odporu  $R_{\text{mezní vrstvy}}$ .

$$R_{\text{mezní vrstvy}} = \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

$\alpha$  = koeficient přestupu tepla

Pro použití pro oděv, může být koeficient přestupu tepla spočítán následujícími třemi vztahy:

- pro volné proudění

$$\alpha = 2,38 \cdot (t_{sk} - t_a)^{0,25} \quad (5)$$

- pro nucené proudění s rychlostí

$$\alpha = 3,5 + 5,2 \cdot v \quad (6)$$

- při vyšších rychlostech proudění

$$\alpha = 8,7 \cdot v^{0,6} \quad (7)$$

Koeficient přestupu tepla vzrůstá při vynuceném proudění a u proudění přirozeného je relativně nízký.

Rozlišujeme dva typy proudění. Laminární, kde jsou trajektorie pohybu částic v urovnaném stavu. Tloušťka tepelné mezní vrstvy je u tohoto typu proudění vyšší, než u proudění turbulentního. Proudění turbulentní je charakterizováno různou trajektorií drah částic tekutin. Turbulentní proudění nastává v okamžiku, kdy bezrozměrné Reynoldovo číslo  $Re$  převyšuje hodnotu 2300 [2]. Toto číslo je definováno vztahem:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (8)$$

$d$  = rozměr objektu [m]

$\nu$  = dynamická viskozita tekutiny [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

Tepelný tok  $q$  pro turbuletní i laminární proudění se vyjadřuje pomocí Newtonova zákona:

$$q = \alpha_c \cdot (t_1 - t_2) \quad (9)$$

$q$  = tepelný tok [ $\text{W/m}^2$ ]

$\alpha_c$  = koeficient přestupu tepla [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$t_1 - t_2$  = rozdíl teplot

### 1.4.3 Přenos tepla radiací

U radiace, neboli záření jde o elektromagnetické vlnění, které je šířeno prostorem o rychlosti  $c \doteq 300\,000\,000 \text{ m/s}$ . Záření má vlnový charakter o délce vlny  $\lambda_v$ , které přiřazujeme frekvenci  $f$  dle vztahu:

$$f = \frac{c}{\lambda_v} \quad (10)$$

Známe několik tipů záření lišících se od sebe vlnovou délkou. Nejkratší vlnovou délkou má gama záření, dále pak rentgenové záření, extrémní ultrafialové, ultrafialové, optické, infračervené, submilimetrové, mikrovlnné a radiové [2]. Všechny předměty, které mají teplotu vyšší než absolutní nula vydávají elektromagnetické záření a zároveň záření i přijímají. U radiace není potřeba přímého styku s objektem, záření volně prochází vakuem i atmosférickým vzduchem [5].

Dopadne-li záření na povrch předmětu, může dojít ke třem různým stavům. Buď se dopadající záření odrazí, v tom případě poměr množství světla odraženého od objektu k celkovému množství světla dopadajícího na objekt nazýváme reflektace  $\rho$ .

Dále může dojít k pohlcení, v tom případě se udává poměr množství světla absorbovaného do objektu k celkovému množství světla dopadajícího na objekt, což nazýváme absorpance  $\alpha_a$ .

V třetím stavu může dojít k průchodu záření skrz předmět. Transmitací  $\tau_t$  je tedy myšleno poměr množství světla, které prochází objektem, k celkovému množství světla dopadajícího na objekt.

Pokud tyto tři stavy zaneseme do rovnice podle Kirchhoffova zákona, vyplývá: [2]

$$\rho + \alpha_a + \tau_t = 1 \quad (11)$$

#### 1.4.4 Přenos tepla evaporací

Přenos tepla evaporací, znamená teplo odvedené vypařováním. Tepelný tok odváděný vypařováním závisí na tom, jestli teplota kůže klesá, či vzrůstá. Člověk ztrácí teplo vypařováním hlavně kůží, při pocení. Při nízkých teplotách okolního prostředí jsou teplotní ztráty minimální. Naopak, pokud se teplota zvýší nad termoregulační zónu, vypařování se zvyšuje [5].

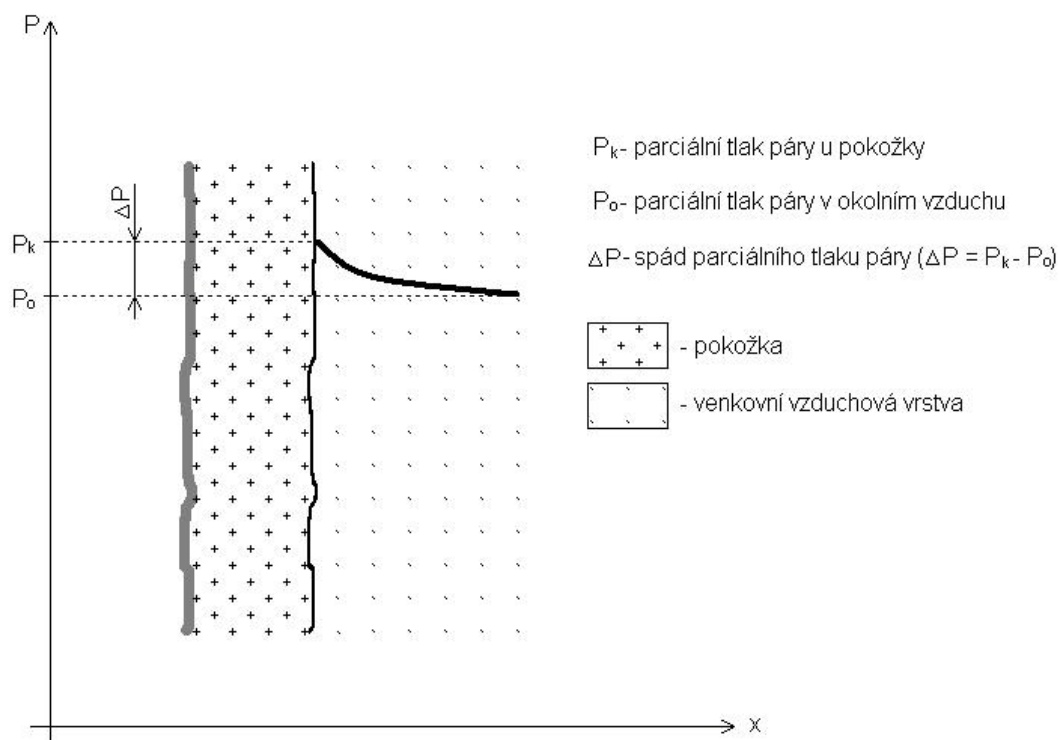
#### 1.4.5 Přenos tepla respirací

Přenos tepla respirací, neboli dýchacími cestami. Při vdechování vzduchu jsou teplo a vodní páry přenášeny konvencí a minimálně vypařováním z respirační výstelky [5].

### 1.5 Odvod kapalně vlhkosti z povrchu lidského těla

Lidský organismus v rámci svého termoregulačního systému produkuje vodu ve formě potu. Složení potu je převážně z vody, solí, tuků a močoviny. Produkce potu je na různých částech těla odlišná. Nejvíce se potíme např. na chodidlech. Pokud bude kůže do teploty 34°C, uvolňuje lidské tělo do okolí průměrně 0,03 l·h<sup>-1</sup> potu. Nad tuto teplotu až 20x tolik. Pot slouží v lidském těle jako ochlazovací prostředek, avšak k ochlazení potem dochází jen tehdy, když se pot odpařuje [2].

Pokud se jedná o povrch kůže, která není pokryta oděvem je jediný předpoklad, aby bylo okolní prostředí schopno pojmout množství páry. Tento předpoklad je zajištěn dostatečným rozdílem parciálních tlaků páry, jak je vidět na obr. 5. Pokud se tento rozdíl snižuje, odvod vlhkosti klesá a ochlazovací účinek mizí [6].



Obr. 5: Odvod vlhkosti z volného povrchu kůže odparem [2]

Pokud se jedná o povrch kůže, která je pokryta vnější tepelnou bariérou, situace je odlišná od předchozí, neboť transport vlhkosti se řídí prostřednictvím difúze, kapilárně a sorpčně.

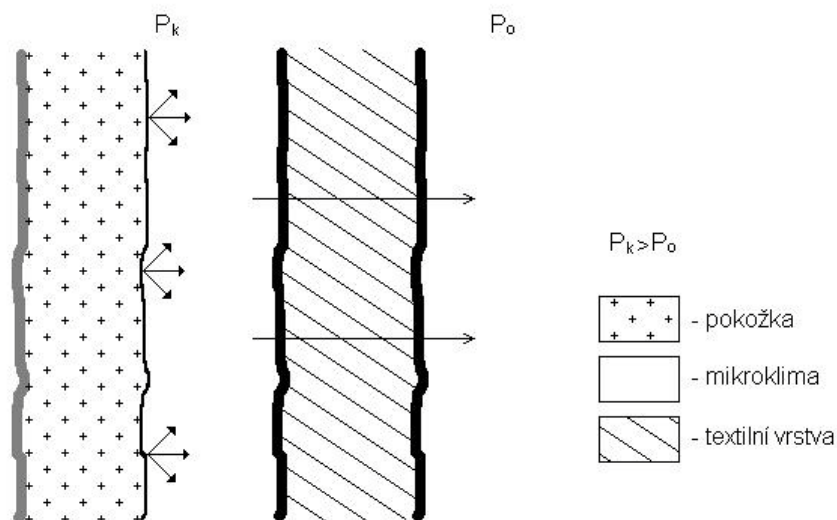
### 1.5.1 Difuzní odvod vlhkosti

Difuzní odvod vlhkosti nebo potu díky pórům je odváděn z povrchu lidského těla, jež se svojí velikostí a nerovností se zúčastňují na kapilárním odvodu.

Rychlost odvodu vlhkosti je závislá na složení a tvaru materiálu, kterým prostupuje. Je tu například závislost na koeficientu porosity textilie. Čím je tedy vyšší porosita, tím lépe textilie pot odvede. Vysoce porézní jsou například pleteniny.

Vlhkost prostupuje textilií směrem nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difuzní odpor se poté sčítá. Sčítá se jak odpor oděvních vrstev, tak i vzduchových mezivrstev.

Odvod vlhkosti je dále závislý na délce kanálků. Čím je délka větší, tím se zvyšuje difuzní odpor [2].

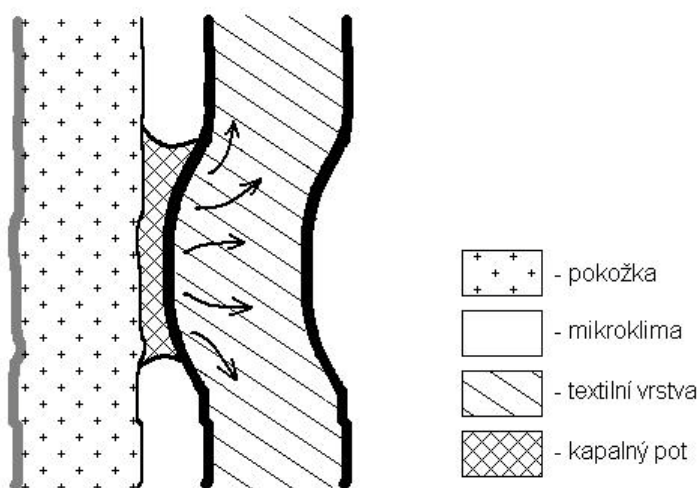


Obr. 6: Difuzní odvod [2]

### 1.5.2 Kapilární odvod vlhkosti

Kapilární odvod potu ulpívající na pokožce spočívá v tom, že pot v kapalném stavu je odsáván kapilárními cestami první textilní vrstvy, kterými vzlíná do její plochy všemi směry. Jde o takzvaný knotový efekt.

Tento proces přenosu vlhkosti přes póry textilie je jedním z nejdůležitějších a nejrychlejších z hlediska fyziologického komfortu.



Obr. 7: Odvod kapilární vlhkosti [2]

Pro vytvoření intenzivního odvodu vlhkosti je dobré zvýšit drsnost vláken pro vyšší knotové vlastnost. Dále musí být struktura přize jednodolitá a prostor mezi speciálně

tvarovanými vlákny co nejmenší. Současně musí být přilnavost mezi kapalinou a vláknem dostatečně malá, aby výsledný silový účinek preferoval pohyb vlhkosti.

Příkladem, kde je přilnavost mezi kapalinou a vláknem větší než kapilární efekt, neboli pohyb vlhkosti, můžeme pozorovat například u bavlněných vláken. Tento fakt můžeme uvést na praktickém příkladě, když zavlhčíme bavlněný úplet kapkou vody. Vlhkost se v textilním materiálu rozšíří do menšího kruhu než když navlhčíme stejným množstvím tekutiny speciální textilií značky Moira. Díky tomu, že se u Moiry kapalina rozprostře do větší plochy, lokální zatížení textilie absorbovaným potem poklesne a tím pádem nedojde k diskomfortnímu stavu [2].

### **1.5.3 Sorpční odvod vlhkosti**

Předpokladem pro sorpční proces je vznik vlhkosti či kapalného potu. Odvod vlhkosti sorpcí je poté spojena se schopností textilie přijímat molekuly vody. Je tedy závislá na četnosti hydrofilních skupin ve vlákne, na které se pak molekuly vody vážou. Podmínkou pro sorpční proces je použití sorpčních vláken, jako jsou například vlákna přírodní [6].

Všechny tři již zmíněné principy se na transportu vlhkosti podílejí současně. Nejrychlejší odvod vlhkosti je kapilární, poté difúzní a nejpomalejší mechanismus je sorpční.

## **1.6 Metody měření termofyziologického komfortu**

Termofyziologický komfort nastává v okamžiku, kdy je lidský organismus v takzvaném teplotním optimu.

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit buď pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný fyzikální děj, ale nezakládají si na podmínkách, které jsou v systému pokožka - oděv - prostředí, nebo lze přenos tepla a vlhkosti měřit za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla.

Termofyziologický komfort oděvů, neboli textilií, lze pak charakterizovat pomocí dvou základních parametrů a to tepelného a výparného odporu. Jde v podstatě o míru propouštění tepla od těla a vlhkosti, což záleží na vlastnostech dané textilie, vnější tepelné bariéry.

Výparný odpor je klíčovou složkou v ochlazování těla, díky odpařování potu z pokožky. Úroveň ochlazování závisí na dvou podmínkách, a to na rozdílu parciálních



tlaků vodních par ve vnějším prostředí a na povrchu těla, dále pak ochlazování závisí na propustnosti vnější tepelné bariéry, neboli oděvu pro vodní páry.

Parametr paropropustnost můžeme nahradit parametrem výparný odpor, který přímo charakterizuje účinky tepla vnímané pokožkou vznikající v důsledku odparu potu, neboli ochlazování těla. Toto můžeme pozorovat u měření simulujících reálné přenosové jevy při nošení oděvu. Dále je důležité rozlišovat celkový výparný odpor oděvu a výparný odpor vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu, tzv. mezní vrstvy.

Tato kapitola se tedy bude zabývat způsobem měření tepelného a výparného odporu textilií a relativní propustnosti textilií pro vodní páru [7].

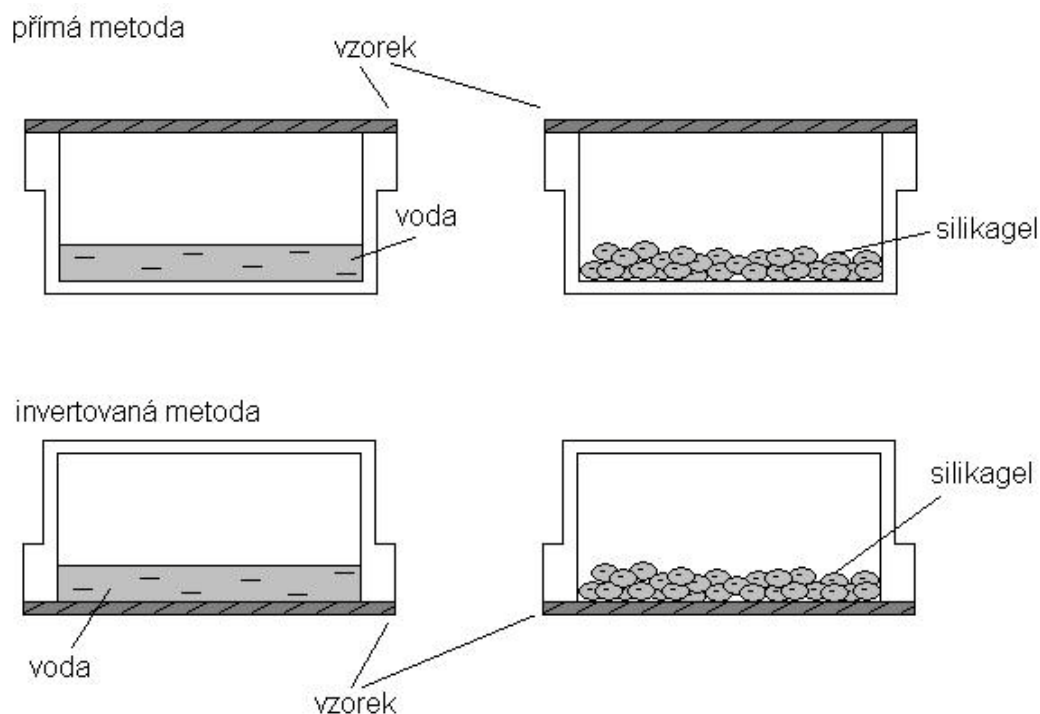
### 1.6.1 Gravimetrická metoda

Gravimetrickou metodou zjišťujeme relativní propustnost vodní páry dle ČSN 80 0855.

Měření spočívá v upevnění kruhového vzorku textilie, který je vyseknut pomocí raznice na příslušnou velikost, na hliníkovou zkušební misku kruhového tvaru obsahující silikagel, neboli vysoušedlo, s plochou  $S = 30 \text{ cm}^2$ , pomocí těsnícího kroužku a víčka. Misku se vzorkem zvážíme před expozicí ( $G_0$ ) v klimatizační komoře, která zajišťuje klimatické podmínky přibližně  $20^\circ\text{C}$ , relativní vlhkost 60% a maximální proudění vzduchu  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ . Poté vložíme misku se vzorkem do klimatizační komory a zvážíme ( $G_1$ ) po 6 hodinové expozici (po uplynutí doby  $\tau$ ) a dle vztahu vypočteme relativní paropropustnost  $P_{\text{rel}} [\%]$  nebo paropropustnost absolutní  $P_{\text{abs}} [\text{kg/m}^2 \text{ hod}]$  :

$$P_{\text{rel}} = (G_1 - G_0) / G_0 \quad (12)$$

$$P_{\text{abs}} = (G_1 - G_0) / S \tau \quad (13)$$



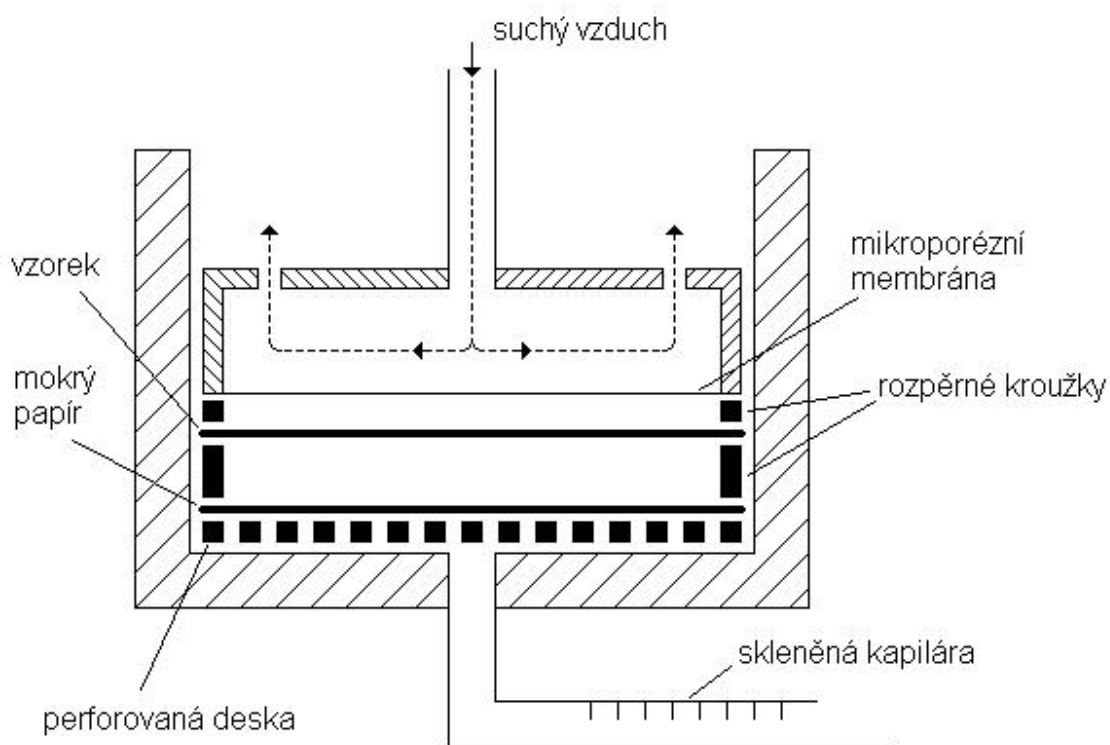
Obr. 8: Gravimetrická metoda [2]

Nevýhodou metody je její zdlouhavost, metoda bez přípravy trvá jak už bylo řečeno 6 hodin, další nevýhodou je její nízká přesnost, daná vysoušedlem, které má nelineární sorpci. Proto se od této metody upouští [2].

### 1.6.2 Metoda Dreo

U metody Dreo je vzorek textilie upevněn mezi dvě polopropustné vrstvy. Pod spodní polopropustnou vrstvou je nalita voda a nad vrchní polopropustnou vrstvou proudí suchý vzduch. Spodní vrstva chrání vzorek textilie od přímého kontaktu s vodou a vrchní vrstva brání kontaktu textilie se vzduchem.

Ztráta vody je odečítána na stupnici skleněné kapiláry. Měření trvá asi 15 minut. Metoda Dreo je znázorněna na obrázku níže [2].



Obr. 9: Metoda Dreo [2]

### 1.6.3 Skin model

Skin model, neboli model kůže, pracuje na principu zavlhčované a vyhřívané desky, která simuluje potíci se lidskou pokožku. Dochází zde k procesu přenosu tepla a hmoty jako mezi lidskou pokožkou a okolím. Měření se provádí buď za stacionárních podmínek, nebo za podmínek nestacionárních, čímž jsou myšleny kombinace různých teplot, relativních vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu [2].

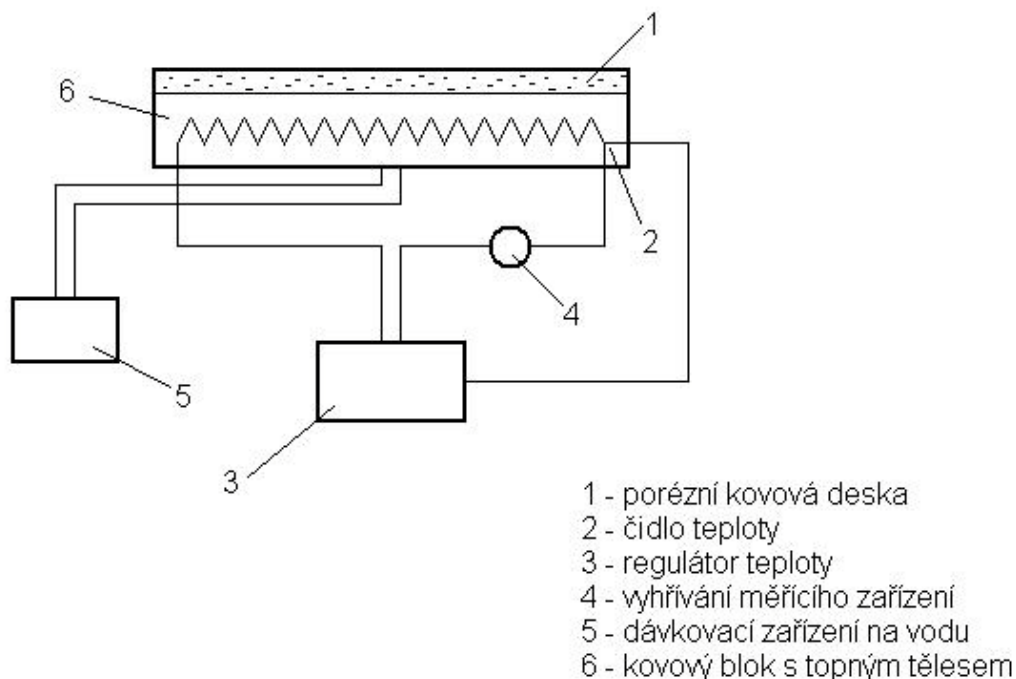
#### 1.6.3.1 Zkouška za stacionárních podmínek

Testovaná tkanina je upevněna na elektricky vyhřívanou desku o teplotě 35°C, obtékanou vzduchem proudícím paralelně s povrchem desky o rychlosti 1 m/s a o teplotě 35°C při měření propustnosti pro vodní páry a pro měření tepelného odporu při teplotě 20°C. Pro dosažení ustálených podmínek pro měření, které trvá několik hodin, se měří elektrickým wattmetrem příkon porézní vytápěné desky.

Vyhřívaná deska je pokryta pro měření paropropustnosti celofánovou membránou propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu. Takto měřená textilie nepřijde do styku s vodou, ale jen s párou, čímž se simuluje suché pocení.

V důsledku odparu, jehož intenzita je přímo úměrná propustnosti textilie pro páru, má teplota desky tendenci klesat. Aby teplota desky při měření byla stále stejná, zvýší se přiváděný tepelný příkon, který je hlavním ukazatelem měření a hodnoty paropropustnosti.

Nevýhodou je poměrně dlouhá doba měření. Během této doby může docházet ke kondenzaci vlhkosti ve vlastním vzorku a výsledek tímto může být zkreslen [2].



Obr. 10: Měřicí jednotka s kontrolou teploty a přívodem vody [2].

#### 1.6.3.2 Zkouška za nestacionárních podmínek

Tato zkouška funguje také na principu skin modelu, kde se měří regulační účinek z parní fáze, který určuje komfort nošení textilií s podmínkou intenzivního pocení, kde se pot stačí odpařit. Tento děj jde nasimulovat pomocí porézní kovové destičky, na kterou je umístěna hydrofilní tkanina zavlhčená 4 cm<sup>3</sup> vody, která se působením tepla odpařuje. Následuje prostor mezi hydrofilní zavlhčenou tkaninou a měřenou textilií ve kterém jsou umístěna čidla pro měření vlhkosti a časového průběhu teploty.

Pro vylepšení simulace pohybu lidského těla se může vzorek měřené textilie pohybovat pomocí elektricky poháněných nítových tahů [2].

#### 1.6.4 Přístroj PERMETEST

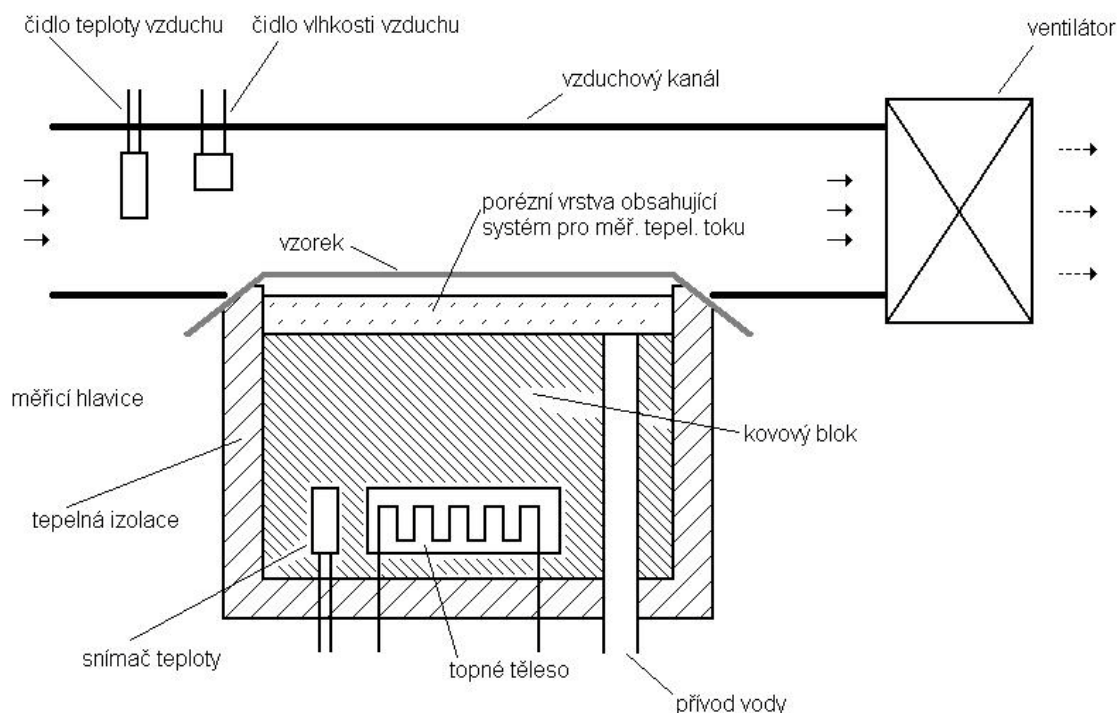
Přístroj Permetest pracuje na principu již výše popsaného tzv. Skin modelu. Přístroj je založen na přímém měření tepelného toku. Permetest je možné použít pro měření tepelného odporu textilií při stabilizované teplotě textilie 32 °C, nebo při zvoleném rozdílu teploty hlavice a teploty v kanálu v mokřím či suchém režimu, dále pro měření výparného odporu a relativní paropropustnosti textilií při izotermních podmínkách a pro měření výparného odporu a relativní paropropustnosti textilií při anizotermních podmínkách [7].

V roce 1990 byl přístroj Permetest patentován Prof. Ing. Lubošem Hesem, DrSc. z technické univerzity v Liberci [8].

Praktická část práce se zabývá měřením právě na tomto přístroji.

Základem přístroje je měřicí hlavice, která obsahuje topné těleso, regulátor teploty a kovový blok pro potřebný rozvod tepla v přístroji, přívod vody, která musí být destilovaná. Kolem celé měřicí hlavice je tepelná izolace, která zabraňuje úniku tepla, jak je vidět na obr. 11 viz níže.

Povrch měřicí hlavice je porézní a je zavlhčován pomocí přívodu vody, čímž se simulují funkce organismu ochlazování pocením. Na tento povrch je přiložen přes separační fólii měřený vzorek. Vzorek musí mít rozměr nejméně 12 x 12 cm, aby pokryl celou měřicí hlavici. Dále je vzorek přiložen rubem na měřicí hlavici a lícem směrem do vzduchového kanálu, kde je tato lící strana ofukována proudem vzduchu, který poté odchází pomocí ventilátoru ven z přístroje.



Obr. 11: Permetest

**Při měření paropropustnosti a výparného odporu** je měřicí hlavice pomocí elektrického topného tělesa a regulátoru teploty udržována na teplotě okolního vzduchu (obvykle 20 – 23°C), který je do přístroje nasáván. Tímto jsou zajištěny klimatické podmínky měření.

Při měření se pak vlhkost v porézní vrstvě měřicí hlavice mění v páru, která přes separační fólii prochází vzorkem. Vzniklý výparný tepelný tok je poté měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku  $q_o$  a poté znovu se vzorkem  $q_v$  a přístroj zaznamenává odpovídající tepelné toky  $q_o$  a  $q_v$ .

Pokud definujeme relativní propustnost textilií pro vodní páry **p [%]**, jedná se o nenormalizovaný parametr, kde 100% propustnost představuje tepelný tok  $q_o$  vyvozený odparem z volné vodní hladiny (měřicí hlavice) o stejném průměru jaký má měřený vzorek.

Pokud zakryjeme již zmíněnou hladinu měřenou textilií, tepelný tok se sníží na hodnotu  $q_v$  [7].

Relativní propustnost pro vodní páry můžeme tedy definovat vztahem v [%] :

$$p = 100 \cdot \left( \frac{q_v}{q_0} \right) \quad (14)$$

$q_v$  = plošná hustota tepelného toku (tepelný tok) procházející měřicí hlavici zakrytou měřeným vzorkem [ $\text{W/m}^2$ ]

$q_0$  = plošná hustota tepelného toku (tepelný tok) procházející měřicí hlavici nezakrytou měřeným vzorkem [ $\text{W/m}^2$ ]

Výparný odpor zkoušeného vzorku lze stanovit podle vztahu v [ $\text{m}^2 \cdot \text{Pa/W}$ ]:

$$R_{et} = \frac{(P_m - P_a)}{(q_v - q_0)} \quad (15)$$

$P_m$  = nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavy [Pa]

$P_a$  = parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]

**Měření tepelného odporu textilního vzorku** se provádí pomocí suché měřicí hlavy, která je vytápěna na teplotu o 10 – 20°C vyšší než je teplota okolního vzduchu. Tepelný tok, který je ze vzorku odváděn konvekcí, je přístrojem Permetest opět zaznamenán, stejně jako u již zmíněné paropropustnosti a u výparného odporu.

Tepelný odpor  $R_{ct}$  se dá popsat jako odpor proti prostupu tepla textilním vzorkem při teplotě  $t_m$  jeho vnitřní strany a jako odpor při přenosu tepla prouděním z vnější strany vzorku o teplotě  $t_a$ , přičemž tepelný odpor této vnější mezní vrstvy se odečítá, [7,2] jak je vidět na rovnici pro výpočet tepelného odporu [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ]:

$$R_{ct} = \frac{(t_m - t_a)}{(q_v - q_0)} \quad (16)$$

$t_m$  = teplota povrchu měřicí hlavy [°C]

$t_a$  = teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřicí hlavy [°C]

První měření, které se na Permetestu provádí je kalibrace pomocí referenční tkaniny. Pro přesnost a reprodukovatelnost měření musí být zvolena vhodná referenční textilie, která musí vlastnostmi co nejlépe vyhovovat. Propustnost této textilie se nesmí měnit v důsledku sorpce vodních par a musí to být textilie homogenní. Tyto požadavky nejlépe splňuje tkanina z hydrofobní polypropylenové příze, jejíž konstrukce, dostava a plošná hmotnost jsou dány českou normou.

Výhodou přístroje Permetest je zejména nedestruktivní způsob měření zkoušené textilie, můžeme tedy měřit i hotový výrobek, dále je to malý rozměr přístroje, který si tímto můžeme přenést na jakékoliv místo a v neposlední řadě je to rychlost měření. Měření trvá 1-2 minuty [7].

### **1.6.5 Tepelný manekýn**

Jedná se o tepelný stroj, který je sestaven tak, aby simuloval lidské tělo a na rozdíl od Potícího torza simuluje v omezené míře také pohyb lidského těla. Tepelný manekýn je vyroben a rozdělen na 17 na sobě nezávislých topných segmentů, které udržují povrchovou teplotu kůže kolem 33°C. Vše je řízeno počítačem. Počítač registruje elektrický příkon  $P$  [W], potřebný k udržení teploty 33°C. Z naměřených hodnot je počítačem zjištěn odvod tepla do okolí. Vše probíhá nejprve bez vlivu vnější tepelné bariéry, poté je tepelný manekýn oblečen a měření se opakuje. Poté se od zjištěného celkového tepelného odporu (kdy je manekýn oblečen) odečte tepelný odpor bez vlivu oděvu a tím získáme konečnou hodnotu tepelného odporu  $R_{ct}$  [2].

### **1.6.6 Potící torzo**

Potící torzo je válec o velikosti trupu, který simuluje lidské tělo. Torzo je složeno z různých vrstev materiálů, a to z teflonu, polyetylenu, polyamidu a aluminia. Tyto vrstvy mají napodobovat vrstvy těla, a to pokožku, podkoží, tukovou vrstvu a jádro. Torzo je vyhříváno, může být také naplněno vodou pro docílení přibližně stejné teploty jako má lidské tělo, přibližně tedy 33°C. Pro kontrolu teploty v jednotlivých vrstvách je na válci umístěno 20 čidel. Dále válec obsahuje 36 potních trysek pro napodobení potícího se těla. Pro zabránění úniku tepla je torzo obklopeno teplotními kryty.



Válec je vertikálně vložen do klimatické komory, kde proudí vzduch o rychlosti 2m/s. Na válec se položí testovaná textilie a testuje se při dvou pracovních zatížení organismu. Dle dodávaného příkonu pro udržení teploty zjišťujeme tepelné ztráty, na vahách se stanoví množství odpařené a kondenzované vody [2].

## 2. Rešerše

Se zaměřením na paropropustnost bylo napsáno mnoho publikací. Práce o paropropustnosti textilií v suchém stavu publikovali Fanworth, Gibson, Fan, Chen a další. Otázkou paropropustnosti textilií v mokřém stavu se zabývala například publikace vydána Renem a Rukmanem. Nebyla však nalezena žádná práce, která by zkoumala vliv vzduchové mezery mezi tkaninou a pokožkou. Pouze práce Prof. Ing. Luboše Hese, DrSc., se zabývá simulací vzduchové mezery 2 a 4 mm, na kterou tato diplomová práce navazuje.

V této rešeršní části byly vybrány práce, které se specializují zejména na měření paropropustnosti na přístroji Permetest, protože přístroj Permetest byl stěžejní pro experimentální část této práce.

- 1) **Hes, L., Mario de Araujo:** *Simulation of the Effect of Air Gaps between the Skin and a Wet Fabric on Resulting Cooling Flow. Textile Research Journal 80(14), 2010.*

Tato experimentální studie se zabývá měřením paropropustnosti textilií v mokřém stavu na přístroji Permetest. Byl sledován efekt vzduchových mezer mezi kůží a textilií na celkovém relativním chladicím tepelném toku (chladicím efektu) pocítěném kůží.

Bylo zjištěno, že chladicí efekt vlivem poklesu teploty nemůže být pocítován kůží se stejnou intenzitou na celém těle. Nejvyšší chladicí efekt byl zjištěn když mokrá textilie přiléhá těsně na kůži, naopak bez přímého kontaktu textilie je chladicí efekt menší. U měření bez vrstev vzduchu chladicí efekt vzrůstal s přibývajícím obsahem vlhkosti. V měřeních se vzduchovou mezerou 2 a 4 mm, byl celkový chladicí efekt téměř konstantní i pokud byla zvyšována vlhkost textilie. Ve shodě s teoretickou analýzou zahrnutou v práci, byl chladicí efekt se vzduchovou vrstvou několikrát nižší, než chladicí efekt s textilií přímo na těle.

- 2) **Holemá, K.:** *Vliv teploty a vlhkosti vzduchu na měření termofyziologických vlastností textilií pomocí skin modelu. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, 2010.*

Tato bakalářská práce pojednává o termofyziologických vlastnostech textilií, konkrétně o výparném odporu. Měření bylo prováděno na přístroji

PERMETEST při třech různých teplotách a dvou různých vlhkostech. Cílem bylo zjistit závislost výparného odporu na různé teplotě a vlhkosti a následné určení optimální teploty a vlhkosti pro měření. Měření bylo prováděno také na přístroji TEXTTEST FX 3300 pro zjištění prodyšnosti. Také byl proveden průzkum u českých výrobců outdoorového oblečení za účelem zjištění, jakým způsobem testují komfort svých výrobků.

V závěru práce je uvedeno, že z provedeného měření plyne, že hodnoty výparného odporu do jisté míry závisí na teplotě a vlhkosti vzduchu proudícího kolem měřeného vzorku, kromě případu měření na polypropylen, kde vliv teploty byl nulový. Překvapením byla zjištěná závislost hodnot výparného odporu pro tkaninu polyesterovou. Při vyšších teplotách a vlhkostech polyester přijal vlhkost do svého povrchu.

- 3) **Kšanda, P.:** *Vliv vlhkosti na tepelně-izolační vlastnosti vybraných tepelně-izolačních materiálů. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, 2009.*

Bakalářská práce pojednává o termo-izolačních vlastnostech spacích pytlů. Dále je v ní uveden přehled prodejců spacích pytlů na území České republiky. Obsahuje také průzkum informovanosti uživatelů spacích pytlů o jejich termo-izolačních vlastnostech. Úkolem této bakalářské práce bylo porovnání vzorků spacích pytlů v suchém a v mokřém stavu. Svrchní vrstva vzorků je tvořena ze 100% polyamidu, výplň vzorků tvoří 100% polyester. Výplň vzorků byla tvořena materiály Polarguard, Thermolite a dutým vláknem.

Z měření vyplynulo, že přítlak má podstatný vliv na izolační vlastnosti textilií - je zde vidět závislost mezi zvyšováním přítlaku a poklesem tepelného odporu zkoumaných vzorků. Dále je patrné z naměřených hodnot a vytvořených grafů, že s nárůstem vlhkosti v textiliích klesají hodnoty tepelného odporu a že se tedy i zmenšují izolační vlastnosti zkoumaných vzorků.

- 4) **Průdková, M.:** *Paropropustnost polopropustných textilií. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, 2008.*

Bakalářská práce se zabývá paropropustností a výparným odporem polopropustných textilií jak v suchém stavu tak ve stavu vlhkém. Vybrané vzorky jsou měřeny na přístroji Permetest.

V práci bylo zjištěno, že se vzrůstající vlhkostí vzorku vzrůstala i paropropustnost celková. Výparný odpor naopak s přibývajícím vlhkostí klesal. V druhé fázi práce byla použita nepropustná fólie, která zabránila proniknutí vodní páry z měřicí hlavice skrz textilii. Výsledky prokázaly, že paropropustnost naměřená s fólií dosahovala nižších hodnot, než paropropustnost celková.

- 5) Novotná, M.:** *Paropropustnost membránových textilií s repelentní úpravou po expozici vodní sprchou. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, 2010.*

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit na přístroji Permetest propustnost pro vodní páry a výparný odpor membránových materiálů za mokrého stavu. Vzorky byly zvlhčovány pomocí přístroje Spray-test. Měření bylo porovnáváno po několika cyklech praní.

V práci bylo zjištěno, že se u všech zkoušených materiálů změnily vlastnosti za mokra, již po třech vyprání. S rostoucími počty cyklů praní se zvyšovaly hodnoty ochlazovacího toku (chladicí efekt). Pouze chemické čištění nemělo vliv na vlastnosti materiálu.

- 6) Mrázková, P.:** *Paropropustnost a prodyšnost polopropustných materiálů typu Windstopper. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, 2009.*

Tato bakalářská práce pojednává o materiálech typu Windstopper, které slouží k výrobě sportovních oděvů. V práci je měřena paropropustnost a prodyšnost vzorků materiálů typu Windstopper. Dále je zde vytvořen marketingový průzkum prodejnosti bund typu Windstopper.

Měření probíhalo na přístrojích Permetest, FX 3300 a Airun. Z výsledků vyplývá, že nízkou prodyšnost zajišťují především goretexové vzorky, avšak zajišťují vysokou paropropustnost. Při marketingovém průzkumu bylo zjištěno, že důležité při výběru bundy je pro zákazníky zejména cena, ale také materiál, střih i barva.

- 7) **Pichová, J.:** *Tepelný komfort úpletů ze speciálních vláken za vlhka.*  
*Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, 2010.*

Bakalářská práce se zabývá tepelným komfortem úpletů na spodní prádlo ze speciálních vláken. Jsou zjišťovány parametry termofyziologického komfortu a vliv vlhkosti na tepelný komfort. V práci byla měřena tepelná jímavost v porovnání se subjektivním tepelným omakem na přístroji Alambeta a paropropustnost na přístroji Permetest.

V práci je uvedeno, že velmi dobré tepelně izolační vlastnosti za vlhka prokazuje merinová vlna/polyester, ovšem s nižší paropropustností. Úplet ze sójových proteinů prokazuje dobré tepelně izolační vlastnosti, ale pouze za nízkého stupně zavlhčení. Naopak nejhorší tepelně izolační vlastnosti byly naměřeny u polyamidu, ale s výbornou propustností pro vodní páry. Při hodnocení paropropustnosti se potvrdilo, že více páry propouštějí vlákna s nižší sorpcí, tedy vlákna syntetická. Nejvyšší paropropustnost byla naměřena u vzorku z polyesteru.

- 8) **Nilgün Özdil, Arzu Marmaralı, Serap Dönmez Kretzschmar:**  
*Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics.*  
*International Journal of Thermal Sciences, Volume 46, Issue 12,*  
*December 2007, Pages 1318-1322, Ege University, Turkey.*

V tomto výzkumu byly hodnoceny tepelné vlastnosti pletenin. Byly použity vzorky pletené vazbou 1 x 1 žebro ze 100% bavlny. Ve vzorcích byly použity příze jednoduché, se zákrutem a počesané příze. Byl měřen tepelný odpor, tepelná vodivost a propustnost vodních par pomocí přístroje Permetest a Alambeta.

Výsledky experimentu byly statisticky vyhodnoceny. Bylo zjištěno, že příze jednoduché, se zákrutem a počesané příze použité v pletenině mají vliv na tepelné vlastnosti měřené pleteniny. Ve chvíli, kdy se vyšší hodnoty tepelného odporu sníží, zvýší se hodnoty propustnosti pro vodní páry. U pleteniny z počesané příze je pozorován stejný vliv na tepelné vlastnosti.

- 9) **Abhijit Majumdar, Samrat Mukhopadhyay, Ravindra Yadav:**  
*Thermal properties of knitted fabrics made from cotton and regenerated bamboo cellulosic fibres. International Journal of Thermal Sciences, Volume 49, Issue 10, October 2010, Pages 2042-2048, Indian Institute of Technology*

Tato práce se zabývá tepelnými vlastnostmi pletenin s materiálovým složením 100% bavlna, 100% bambus a 50% bavlna – 50% bambus. Byly použity příze o jemnosti 30 tex, 24 tex a 20 tex. Každá z těchto přízí, byla použita k výrobě tří typů pletenin (hladká pletenina, žebrovaná pletenina a interlock).

Bylo zjištěno, že tepelná vodivost pletenin se obecně snižuje, když se podíl bambusových vláken zvyšuje. Pro stejný směsový podíl byla tepelná vodivost nižší pro pleteniny z jemnějších přízí. Hodnoty tepelné vodivosti a tepelného odporu byly nejvyšší u pleteniny interlock, poté následovalo žebro a hladká pletenina. Propustnost pro vodní páry a prodyšnost pletenin narůstala, když se podíl bambusových vláken zvyšoval. Hodnoty prodyšnosti a paropropustnosti byly vyšší pro hladkou pleteninu, než pro žebro a interlock.

### 3. Experimentální část

Základními požadavky pro tepelný komfort člověka je oděv. Oděv, jako vnější umělá tepelná bariéra, by měl disponovat vlastnostmi jako jsou tepelná izolace a propustnost pro vodní páry.

Tato práce pojednává o propustnosti pro vodní páry vybraných materiálů jak v suchém, tak v mokřém stavu.

Práce řeší vliv vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií na hodnoty propustnosti pro vodní páry. V případě mokřé textilie je řešen rozdíl chladicího efektu pocíťovaného člověkem, pokud je textilie přímo na pokožce a pokud je v určité vzdálenosti od ní. Touto otázkou se zabývá také práce Prof. Ing. Luboše Hese, DrSc., kde jsou vzduchové mezery zvoleny na 2 a 4 mm od pokožky.

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv vzduchové mezery u měřených materiálů v šesti stupních vlhkosti na celkový chladicí tepelný tok (RWVP) a celkový výparný odpor (RET). Poté vyhodnotit vliv vzduchové mezery na chladicí tepelný tok a výparný odpor samotné textilie. Dílčím cílem bylo zhodnotit vliv materiálového složení vzorků a vazby na chladicí tepelný tok textilie (RWVP) a výparný odpor textilie (RET).

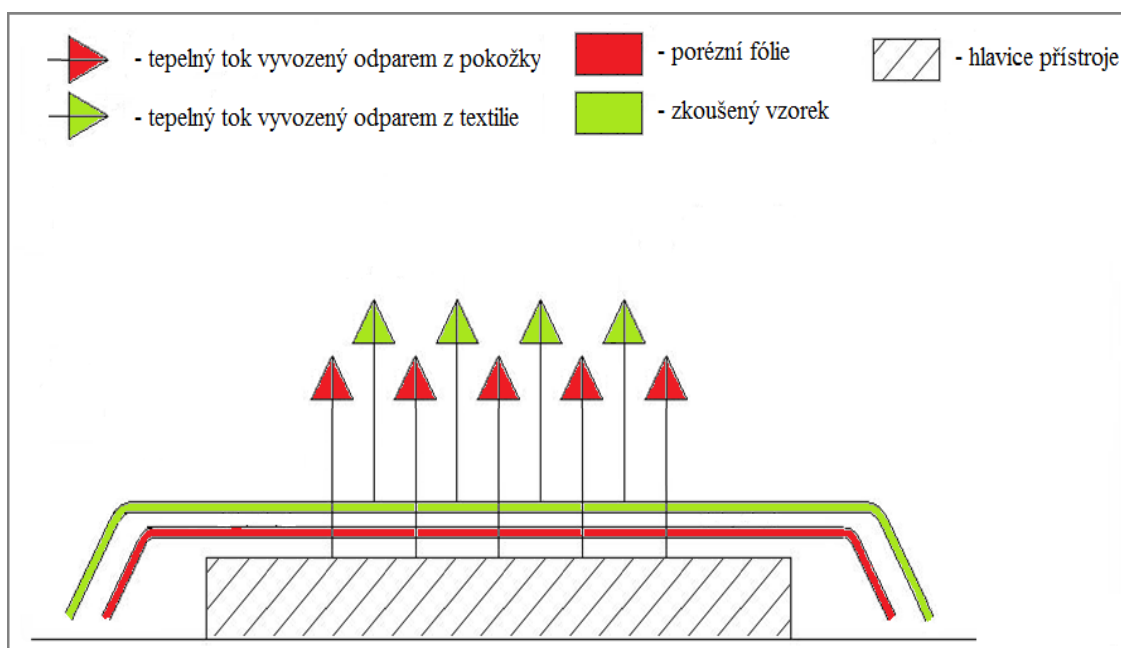
V práci byl použit přístroj Permetest, aby chyba měření byla pokud možno minimální. Také proto byly použity pro měření vzorky s vyšší plošnou hmotností. Byly použity materiály s různým složením a různými vazbami. Vzhledem k tomu, že přístroj Permetest je schopen změřit hodnoty RET a RWVP během 2-3 minut lze říci, že ke změně obsahu vlhkosti ve vzorku docházelo jen minimálně.

#### 3.1 Měření celkového tepelného toku

Měřením celkového tepelného toku je zaznamenáván jak tepelný tok od pokožky, tak tepelný tok od textilie. V simulovaných podmínkách je pokožka nahrazena hlavicí přístroje, která je zavlhčována, což simuluje pocení. Přes hlavici přístroje je aplikována porézní folie, která nepropouští vodu, ale pouze vodní páry.

Na obr. 12 je blokové schéma tepelného toku generovaného jednak vlivem odparu potu z povrchu pokožky a jednak vlivem odpařování vody z povrchu tkaniny a jeho průchod tkaninou. Tento tepelný tok představuje tepelnou ztrátu a má chladicí účinek. Velikost tohoto chladicího efektu způsobeného teplotním gradientem mezi

pokožkou a povrchem textilie závisí mimo jiné i na tepelném odporu vzduchové vrstvy mezi tkaninou a pokožkou [10].



Obr. 12: Celkový tepelný tok

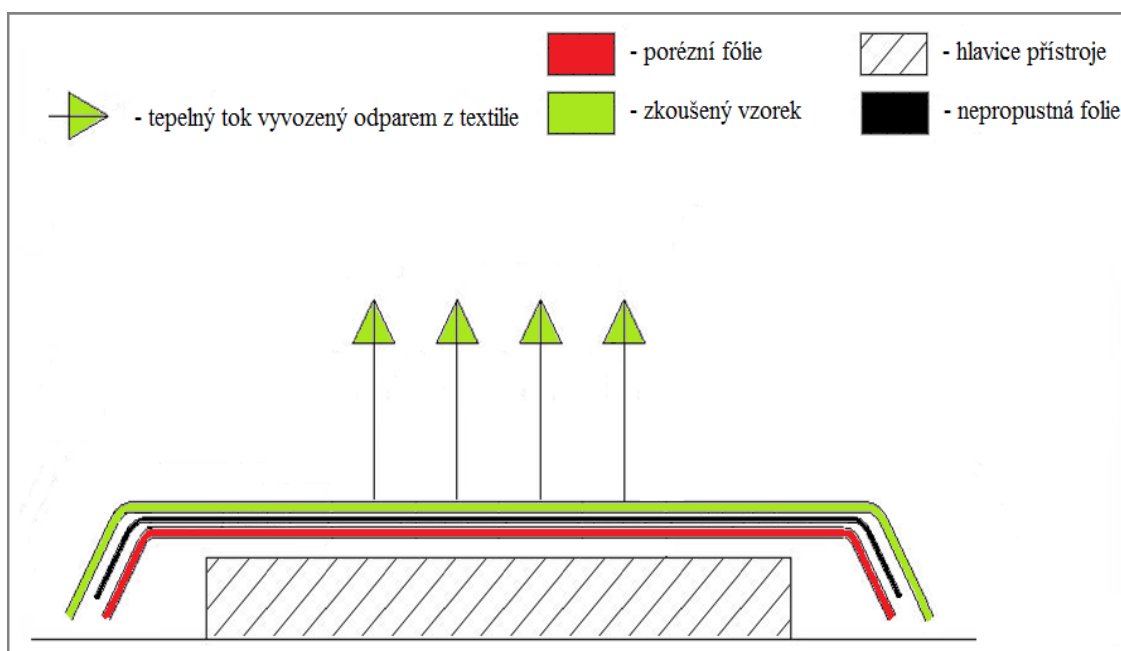
Na základě těchto tepelných toků bylo možné stanovit celkový výparný odpor (RET), paropropustnost (RWVP) a celkový chladicí tepelný tok (RWVP). Paropropustnost pro vzorky v suchém stavu, celkový chladicí tepelný tok pro vzorky s vlhkostí.

Dalším krokem bylo zjistit vliv vzduchové mezery mezi měřeným vzorkem a pokožkou (měřicí hlavici přístroje). Pro měření bylo použito pěti mezikruží o různých tloušťkách 2 – 10 mm, které byly použity pro simulaci vzduchové mezery.

### 3.2 Měření tepelného toku samotné textilie

Pro možné srovnání paropropustnosti a chladicího tepelného toku jednotlivých materiálů je důležité vyloučit vliv tepelného toku pokožky. Z tohoto důvodu byly materiály měřeny s nepropustnou fólií vloženou mezi hlavici a měřený vzorek. Takto byl separován tepelný tok samotné textilie. Na základě tohoto tepelného toku lze následně určit hodnotu výparného odporu pouze měřené textilie (RET) a chladicího tepelného toku měřené textilie (RWVP) viz obr. 13.





*Obr. 13: Tepelný tok samotné textilie*

Na obrázku 13 je vidět tepelný tok způsobený pouze vlhkostí, vypařovanou z povrchu mokré textilie. Současně byl zkoumán vliv vzduchové mezery na hodnotu chladícího tepelného toku textilie. Pro měření bylo použito pěti mezikruží o různých tloušťkách 2 – 10 mm.

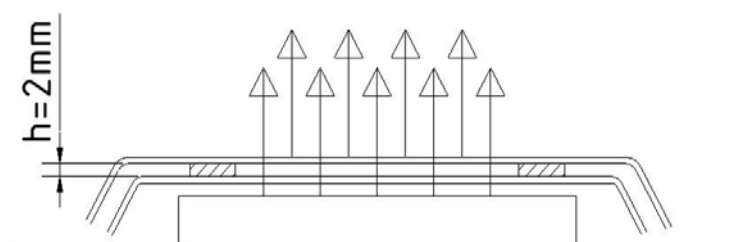
### **3.3 Simulace vzduchové mezery**

Vzduchová mezera mezi textilní vrstvou a hlavicí přístroje, byla vytvořena pomocí mezikruží s tloušťkou 2, 4, 6, 8 a 10 mm. Pro výrobu mezikruží byl použit tepelně izolační materiál PROMILEN. Výhodou tohoto materiálu byla jeho dobrá přilnavost k hlavici Permetestu. Mezikruží byla vyrobena přímo na velikost hlavice Permetestu, která simuluje pokožku lidského těla.

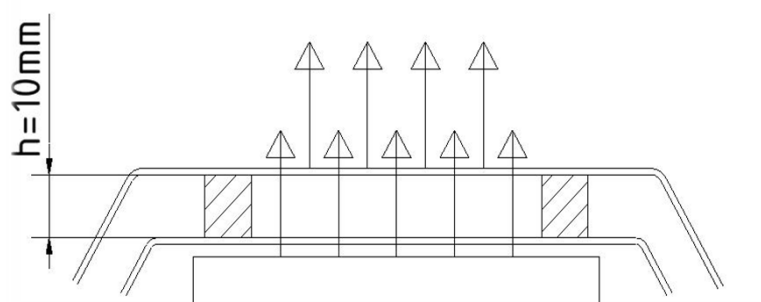


Obr. 14: Mezikruží o různé tloušťce ( $h$ ) pro simulaci vzduchové mezery

Každé z pěti připravených mezikruží simuluje určitou tloušťku vzduchové mezery mezi textilií a pokožkou.



Obr. 15: Simulace vzduchové mezery  $h = 2 \text{ mm}$



Obr. 16: Simulace vzduchové mezery  $h = 10 \text{ mm}$

Na obr. 15 a 16 je vidět simulace odparu vlhkosti (potu) od pokožky a odparu vlhkosti od mokré textilie, při vzduchové mezeře 2 a 10 mm.

### 3.4 Použité materiály

Dnes nejpoužívanějším materiálem pro sportovní oděvy jsou textilie, opatřeny různými druhy membrán. Pro svoji malou navlhavost jsou ovšem tyto materiály méně vhodné pro měření v široké škále vlhkostí. Rychlé vysychání vzorku pak způsobuje nepřesnosti v měření.

Z důvodu snížení nepřesností způsobených rychlým odparem vlhkosti z měřené textilie, byly použity materiály s vyšší plošnou hmotností. Tyto materiály se používají například pro pracovní oděvy.

V práci bylo proměřeno 27 vzorků. Tyto vzorky byly rozděleny podle materiálového složení a podle vazby viz tabulka 1. Vždy 3 vzorky měly stejné materiálové složení a vazbu. Naměřené hodnoty z těchto třech vzorků se poté zprůměrovaly, byla vypočítána směrodatná odchylka atd.. U všech vzorků byla v osnově použita bavlněná příze. V útku byl použit polypropylen (PP), polyester (PL) a bavlna (CO). Vzorky byly tkány ve vazbě kepr pravého směru, kepr lomený ve střídě a kepr hrotový. Experimentální část práce byla velice časově náročná, protože měření každého vzorku i s přípravou trvalo zhruba 10 minut. Všechny vzorky byly měřeny suché, v šesti stupních vlhkosti, bez vzduchové mezery a s pěti mezikruží. To samé se opakovalo s fólií. Časová náročnost celého měření tedy byla zhruba 320 hodin. V práci byl vyhodnocen jednak vliv materiálového složení a jednak vliv vazby. Vypočítané plošné hmotnosti jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze 1.

*Tabulka 1: Přehled použitých materiálů*

Materiál osnova	Materiál útek	Vazba	Jemnost osnovy [tex]	Jemnost útku [tex]	Dostava
bavlna	polypropylen	kepr pravého směru (Z)	49,25	54	307x280
		kepr lomený ve střídě (B)	49,25	54	307x280
		kepr hrotový (HB)	49,25	54	307x280
bavlna	polyester	kepr pravého směru (Z)	49,25	37	307x408
		kepr lomený ve střídě (B)	49,25	37	307x408
		kepr hrotový (HB)	49,25	37	307x408
bavlna	bavlna	kepr pravého směru (Z)	49,25	49	307x308
		kepr lomený ve střídě (B)	49,25	49	307x308
		kepr hrotový (HB)	49,25	49	307x308

### 3.5 Příprava vzorků pro měření

Velikost vzorku pro měření byla 20x20 cm. Pro zjištění ultra suché hmotnosti byly vzorky vloženy do sušícího boxu, kde byly sušeny po dobu 2 hodin při teplotě 105°C. Poté byly vyjmuty a zváženy.

Dále byly připraveny vzorky pro měření v šesti stupních vlhkosti. Pro zajištění rozložení vlhkosti v celé ploše vzorků byly vzorky smočeny ve vodě o teplotě  $20 \pm 2$  °C se smáčedlem, kde byly ponechány 10 minut. Na základě hodnoty ultra suchého vzorku a vzorku vlhkého, bylo možné vypočítat vlhkost vzorku  $U$  [%], podle rovnice:

$$U = \frac{(m_v - m_s)}{m_s} \cdot 100 \quad (17)$$

$U$  = vlhkost vzorku [%]

$m_s$  = hmotnost ultra suchého vzorku [g]

$m_v$  = hmotnost vlhkého vzorku [g]

Pro měření byly vlhkosti stanoveny přibližně na 5, 20, 50, 100, 150 a 190%. Textilie byla smočena ve vodě a po uplynutí časového intervalu byla ze vzorku postupně voda mechanicky odstraňována, pro dosažení nižších vlhkostí.

### 3.6 Měřicí přístroj Permetest

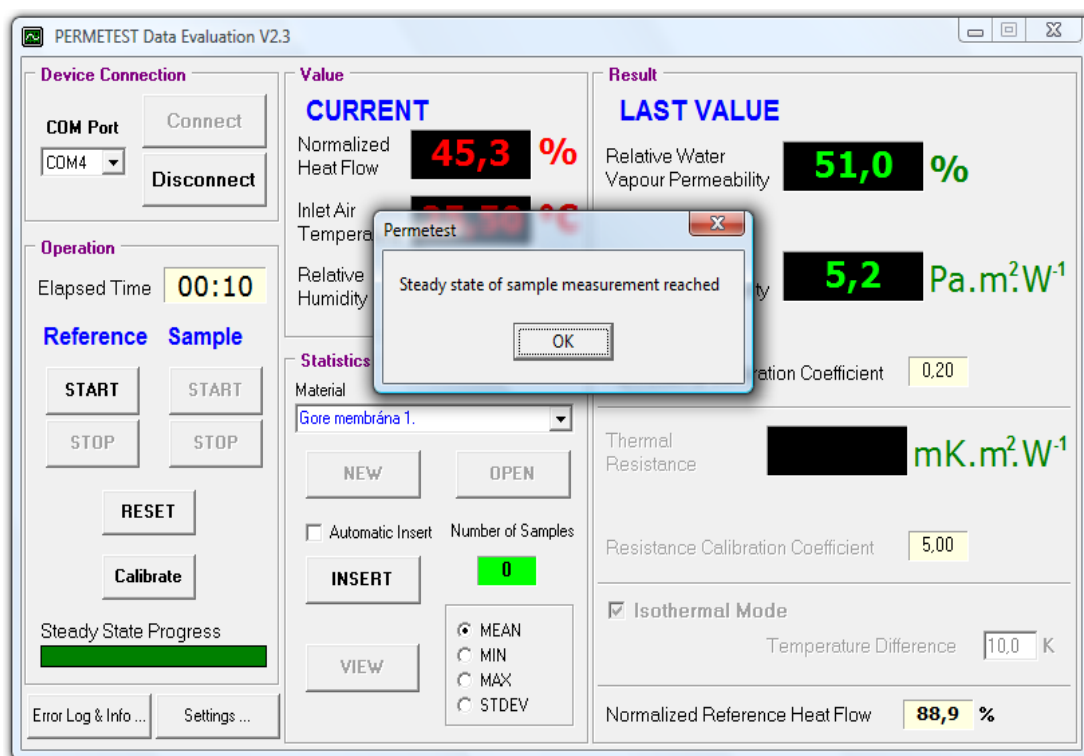
K měření všech připravených vzorků byl použit přístroj Permetest. Na základě tepelného toku byla měřena paropropustnost (RWVP) a výparný odpor (RET). V případě vlhkých vzorků byl měřen chladicí tepelný tok (RWVP) a výparný odpor (RET).



Obr. 17: Permetest

Po zapnutí přístroje Permetest bylo nutné nastavit počáteční parametry, a to rychlost proudění vzduchu v měřicím kanálu, provést kalibraci přístroje a aplikovat vodu do přístroje pro zavlhčování hlavice přístroje.

Permetest komunikuje s PC pomocí programu PERMETESTR. Tento program umožňuje zobrazovat, ukládat a statisticky vyhodnocovat naměřené hodnoty viz obr. 18.



Obr. 18: Program PERMETESTR

Před samotným měřením bylo nutné přístroj zkalibrovat. Kalibrace byla prováděna nejprve měřením bez vzorku, stisknutím tlačítka *Reference* – *START*. Byl změřen tepelný tok bez vzorku. Druhé měření bylo provedeno se zakrytou měřicí hlavici přístroje kalibrační tkaninou, u které jsou známy hodnoty RWVP a RET. Měření bylo spuštěno pomocí ovládacího tlačítka *Sample* – *START*. Tímto byl změřen tepelný tok se vzorkem. Po dokončení měření byl pomocí tlačítka *Calibrate* přístroj zkalibrován. Kalibrace byla opakována dokud nebylo dosaženo požadované hodnoty RWVP a RET.

Následovalo měření testovaných vzorků. Měření probíhalo v klimatizované laboratoři při teplotě  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Nejprve bylo zahájeno měření bez vzorku tlačítkem *Reference* – *START* pro zjištění tepelného toku bez vzorku. Po proběhnutí referenční fáze se vložil měřený vzorek na hlavici přístroje a měření bylo spuštěno tlačítkem

*Sample – START.* Po dosažení ustáleného stavu, který nepřesáhl 2 minuty, byla změřena hodnota tepelného toku, propustnosti pro vodní páry a výparného odporu. Hodnoty byly uloženy tlačítkem *INSERT* do paměti programu. Pro dosažení vyšší přesnosti bylo měření opakováno třikrát. Tyto hodnoty byly zprůměrovány a statisticky vyhodnoceny.

### 3.6.1 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot

Výsledná data změřena pomocí přístroje Permetest byla zprůměrována a statisticky vyhodnocena. Hodnoty byly poté pro přehlednost vloženy do tabulek viz příloha 2.

Tabulka 2: Příklad tabulky hodnot pro  $h = 2 \text{ mm}$  a  $h = 8 \text{ mm}$

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	S [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,0	2,88	23,6	5,1	1,20	1,35	16,2	3,0	0,48	0,54	19,7	25,4
20,1	6,15	44,0	3,7	1,64	1,85	5,8	5,2	0,30	0,34	49,2	2,7
50,6	1,82	49,3	8,4	4,15	4,70	4,6	10,2	0,48	0,54	55,1	6,5
100,3	1,57	55,2	9,0	4,96	5,62	3,7	12,1	0,44	0,50	60,1	3,0
149,9	1,16	55,4	2,6	1,44	1,63	3,3	9,0	0,29	0,33	56,9	4,2
192,7	1,31	75,3	6,0	4,51	5,11	1,4	11,2	0,16	0,18	71,1	5,3

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	S [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
5,3	9,25	15,0	1,8	0,27	0,30	22,5	5,0	1,13	1,28	19,8	6,0
19,4	2,82	22,9	4,4	1,00	1,13	14,1	3,8	0,53	0,60	28,7	2,5
49,5	0,59	23,7	11,2	2,66	3,01	12,2	8,3	1,02	1,15	30,3	4,9
99,3	1,18	26,0	1,1	0,29	0,33	11,7	3,1	0,37	0,41	31,9	2,7
152,0	0,67	25,5	9,2	2,36	2,67	11,3	3,0	0,34	0,39	30,0	0,8
192,8	0,48	30,4	0,9	0,28	0,31	9,5	5,3	0,50	0,56	28,9	2,8

Pro výpočet dat byly použity vztahy pro výpočet směrodatné odchylky a confidencečního intervalu spolehlivosti (95% interval spolehlivosti). Hodnoty RWVP a RET a jejich variační koeficienty byly získány z výstupních souborů programu Permetest. Variační koeficient určuje míru rozptýlení dat v oblasti střední hodnoty v procentech.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (18)$$

CV = variační koeficient [%]

S = směrodatná odchylka

$\bar{x}$  = průměr

Pro určení chybových úseček byl použit 95% interval spolehlivosti. Je to interval od střední hodnoty, v němž se nachází střední hodnota s pravděpodobností  $1 - \alpha$ . Za veličinu  $\alpha$  bylo dosazeno číslo 0,05.

$$\bar{x} \pm 1,96 \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (19)$$

### 3.7 Popis experimentu

V první části měření byl zkoumán celkový tepelný tok (měření bez fólie) viz kap. 3.1 .

Samotné měření probíhalo v několika fázích. V první fázi byly měřeny vzorky v suchém stavu. Byl zaznamenán celkový tepelný tok  $q$  [%], relativní paropropustnost RWVP [%] a celkový výparný odpor RET [ $\text{m}^2 \cdot \text{Pa/W}$ ].

V druhé fázi měření byly textilie měřeny v šesti stupních vlhkosti a to přibližně v 5, 20, 50, 100, 150 a 190 %. Každý vzorek byl postupně namočen do vody se smáčedlem a měřen, postupně ve všech zmíněných stupních vlhkosti. Díky velice krátkému měřicímu času lze říci, že ke změně obsahu vlhkosti ve vzorku docházelo jen minimálně. Tím se také minimalizovala chyba měření. Byl zaznamenán celkový tepelný tok, celkový chladicí tepelný tok a celkový výparný odpor.

Ve třetí fázi měření byly materiály měřeny se vzduchovou mezerou 2, 4, 6, 8 a 10 mm. Se vzduchovou mezerou byly proměřeny vzorky textilií jak v suchém stavu, tak v šesti stupních vlhkosti. Tato vzduchová mezera mezi textilní vrstvou a pokožkou, byla vytvořena pomocí mezikruží různé tloušťky viz kapitola 3.3 . Při měření se vzduchovou mezerou bylo na měřicí hlavici Permetestu položeno nejprve mezikruží o tloušťce odpovídající velikosti vzduchové mezery. Poté byl na toto mezikruží umístěn zkoušený vzorek. Jako u předešlých fází, bylo nutné měřit nejprve bez vzorku a poté se vzorkem. Obě části měření byly provedeny s mezikružím na hlavici přístroje.

V druhé části experimentu byl měřen chladicí efekt samotné textilie (měření s fólií) viz kap. 3.2 .

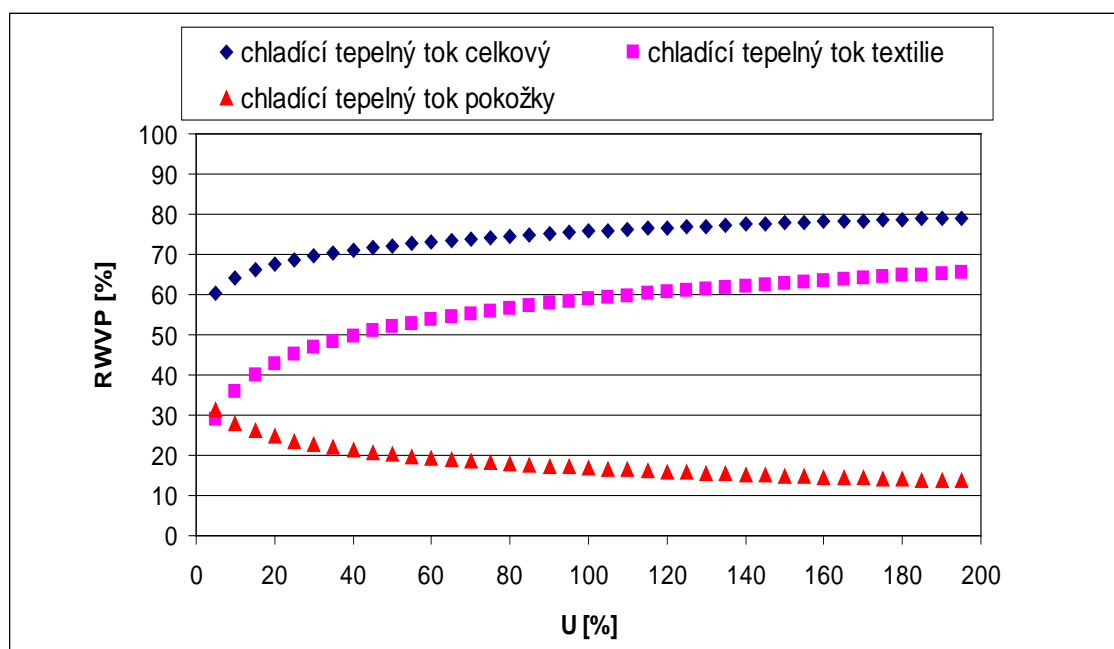
V této části měření byly zopakovány všechny 3 předešlé fáze, ale s použitím nepropustné fólie, která byla aplikována na měřicí hlavici Permetestu. Měření probíhalo

tak, že na měřicí hlavici přístroje byla aplikována nepropustná fólie a teprve na ní měřený vzorek, či mezikruží s měřeným vzorkem.

Ze všech měření byl vyhodnocen vliv vzduchové mezery na chladicí tepelný tok a výparný odpor u měřených materiálů v šesti stupních vlhkosti. Zároveň byl vyhodnocen vliv materiálového složení vzorků a vazby na chladicí tepelný tok a výparný odpor textilie. Dále se podařilo zjistit chladicí tepelný tok pokožky.

### 3.7.1 Chladicí tepelný tok pokožky

Chladicí tepelný tok pokožky se podařilo vypočítat díky naměřenému chladicímu tepelnému toku textilie a chladicímu tepelnému toku celkovému. Po dosazení do rovnice logaritmické regresní křivky, byly vypočítány hodnoty pro chladicí tepelný tok celkový a chladicí tepelný tok textilie a zaneseny do grafu. Hodnoty pro chladicí tepelný tok pokožky, byly poté vypočítány pomocí rovnice (20).



Obr. 19: Vyjádření chladicího tepelného toku pokožky

Na obrázku 19 je znázorněn změřený chladicí tepelný tok celkový, který je tvořen vlivem odparu potu z povrchu pokožky a vlivem odpařování vody z povrchu tkaniny. Chladicí tepelný tok textilie byl také změřen a skládá se pouze z odparu vody z textilie.



Chladicí tepelný tok pokožky lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$RWVP_{pokožky} = RWVP_{celkový} - RWVP_{textilie} \quad (20)$$

RWVP pokožky vyjadřuje, jak velkou tepelnou ztrátu pro organismus představuje pouze tepelný tok od pokožky, který má chladicí efekt.

### 3.8 Vyhodnocení naměřených hodnot

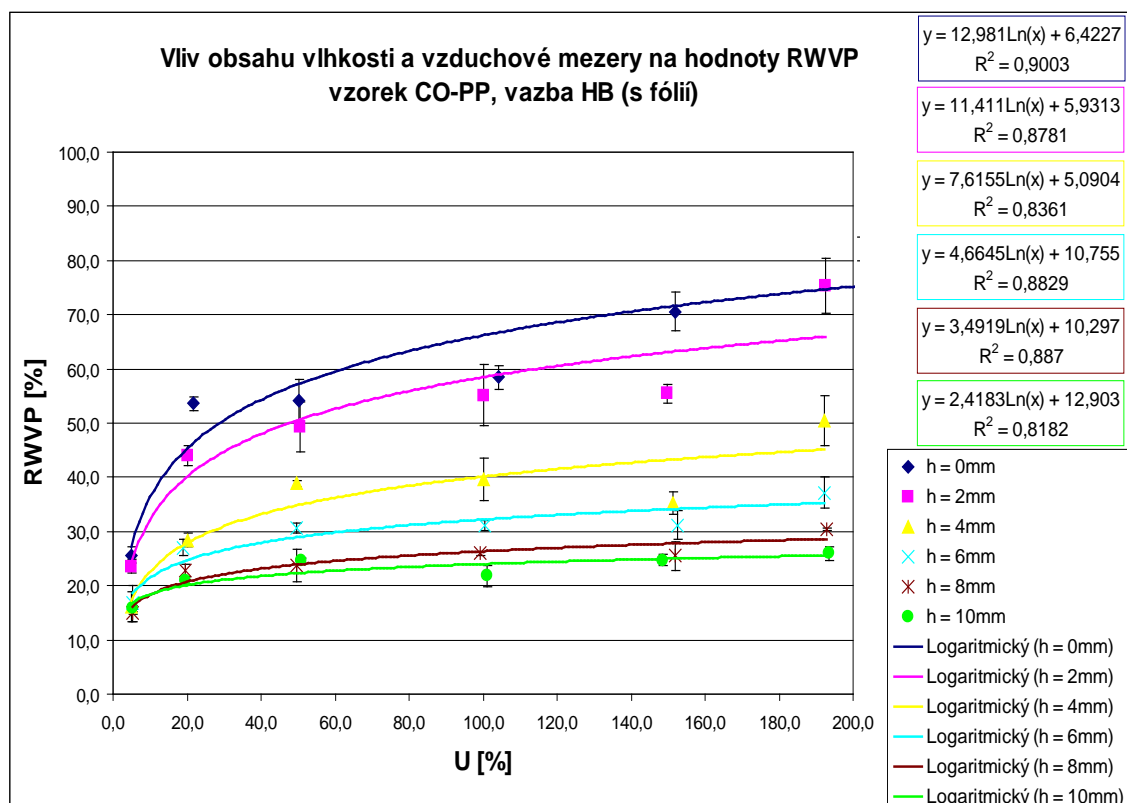
Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv vzduchové mezery na chladicí tepelný tok a výparný odpor samotné textilie. Dílčím cílem bylo zhodnotit vliv materiálového složení vzorků a vazby na chladicí tepelný tok textilie (RWVP) a výparný odpor textilie (RET). Také se podařilo díky rozdílu chladicího tepelného toku textilie od chladicího tepelného toku celkového zjistit chladicí tepelný tok pokožky.

Byly vyhodnocovány 3 materiály, bavlna - polypropylen, bavlna - polyester a 100% bavlna. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a pro větší přehlednost graficky znázorněny. V grafech jsou vyneseny střední hodnoty proloženy regresní logaritmickou křivkou, která nejlépe vystihuje průběh naměřených dat. To dokládá i hodnota spolehlivosti, která je uvedena pro každou křivku v grafu. Čím více se hodnota spolehlivosti přibližuje k jedné, tím přesněji je křivka proložena.

Dále je v každé naměřené hodnotě vytvořena chybová úsečka. Tato úsečka značí interval středních hodnot.

#### 3.8.1 Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na RWVP a RET u materiálu bavlna – polypropylen

Na obr. 20 jsou znázorněny hodnoty z měření textilie se složením bavlna po osnově a polypropylen po útku. Textilie je tkaná ve vazbě hrotový kepr. Průměrná plošná hmotnost byla 312 g/m<sup>2</sup>.



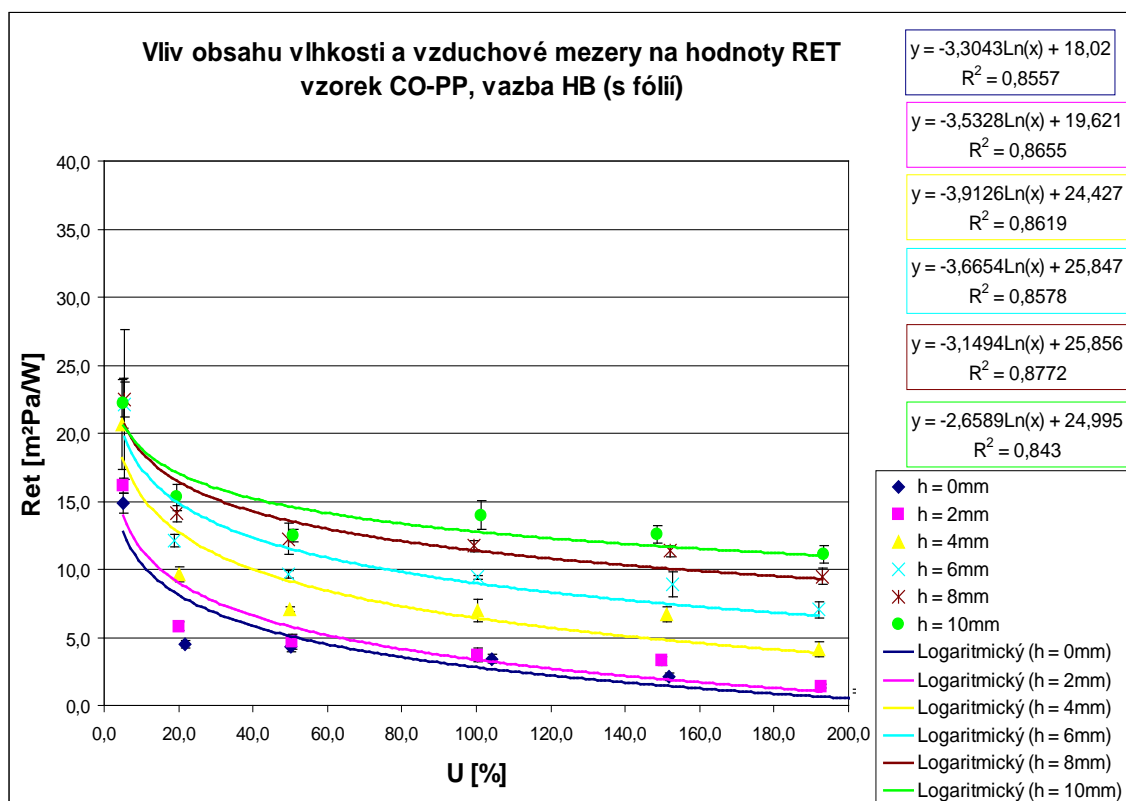
Obr. 20: Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RWVP u materiálu bavlna - polypropylen

Na obr. 20 je znázorněn vliv vlhkosti a vliv vzduchových mezer na relativní chladicí tepelný tok (chladicí efekt) textilie.

Křivka popisující parametr  $h = 0$  mm, představuje textili, která je vzdálená od hlavice přístroje 0 mm, což znamená, že simuluje vrstvu oděvu, která je přímo na pokožce těla, tedy bez vrstvy vzduchu. U vlhkosti 5% je relativní chladicí tepelný tok (RWVP) kolem 25%. Se zvyšující se vlhkostí, výrazně vzrůstá i chladicí tepelný tok.

Další křivka v obrázku představuje naměřené hodnoty z textilie se vzduchovou mezerou 2 mm. Počátek křivky  $h = 2$  mm je zhruba ve stejné hodnotě jako u textilie bez vzduchové mezery. S přibývajícím vlhkostí má RWVP u této křivky mírnější průběh. U křivky  $h = 0$  mm a  $h = 2$  mm však není rozdíl statisticky významný.

U hodnot z měřené textilie s mezerou 6, 8 a 10 mm, byl naměřen zhruba v 5% vlhkosti chladicí tepelný tok kolem 15%. S vyšší vlhkostí vzrůstá RWVP pouze minimálně. Lze pozorovat, že se zvyšující se vzduchovou mezerou, klesá RWVP.



Obr. 21: Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RET u materiálu bavlna-polypropylen

Na obr. 21 je porovnán vliv vlhkosti a vliv vzduchových mezer na výparný odpor (RET) měřené textilie.

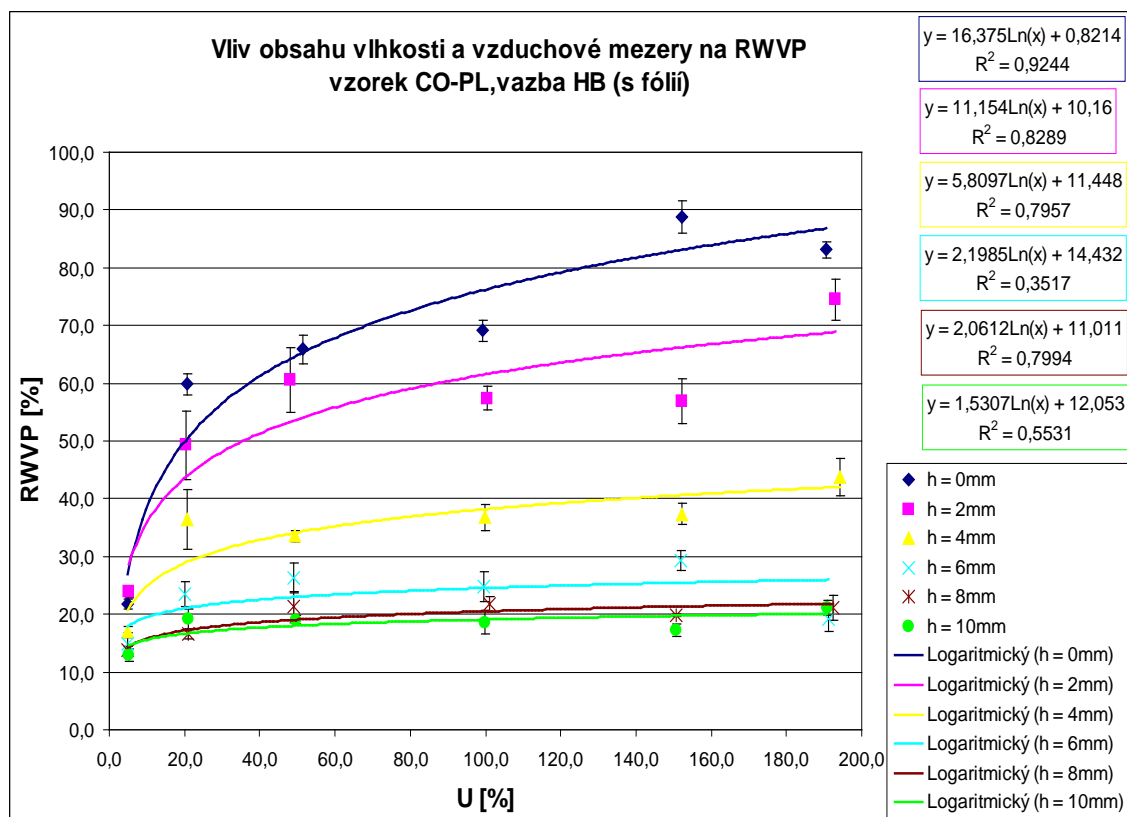
Jak je vidět v tomto obrázku, výparný odpor (RET) textilie je nepřímě úměrný chladicímu toku textilie (RWVP) z obr. 20.

Nejvyšší hodnoty výparného odporu byly naměřeny při 5% vlhkosti. Poté se výparný odpor snižuje se zvyšující se vlhkostí vzorku. Nejnižší výparný odpor byl naměřen u měřeného vzorku bez vzduchové mezery a zároveň u měřeného vzorku se vzduchovou mezerou 2 mm, při vlhkosti mezi 190 a 200%. Naproti tomu nejprudší pokles výparného tepelného toku je v intervalu 5 – 20% vlhkosti textilie U[%].

Nejvyšší výparný odpor byl naměřen u textilie se vzduchovou mezerou 10 a 8mm.

### 3.8.2 Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na RWVP a RET u materiálu bavlna - polyester

Na obr. 22 a 23 jsou znázorněny hodnoty získané při měření textilie se složením bavlna po osnově a polyester po útku. Textilie je tkaná ve vazbě hrotový kepr. Plošná hmotnost byla  $360 \text{ g/m}^2$ .



Obr. 22: Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na RWVP u materiálu bavlna-polyester

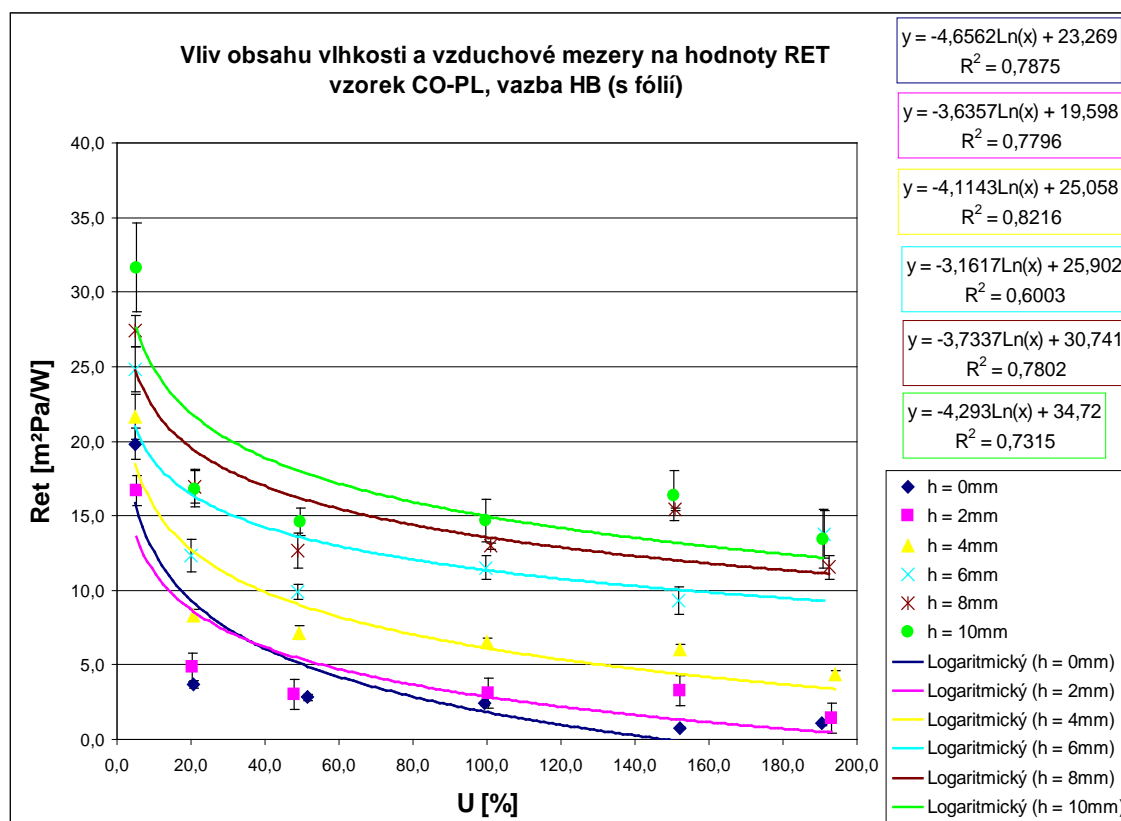
Na obr. 22 je znázorněn vliv vlhkosti a vliv vzduchových mezer na relativní chladicí tepelný tok (chladicí efekt) měřené textilie.

U křivky bez vzduchové mezery, byl naměřen nejvyšší chladicí tepelný tok. U textilie se vzduchovou mezerou 2 mm je dosaženo přibližně stejných hodnot při hodnotě zhruba 5% vlhkosti, jako u textilie bez vzduchové mezery. Ovšem s vyšší vlhkostí vzorku, je hodnota chladicího tepelného toku menší než u textilie bez vzduchové mezery, díky tomu také křivka není tak strmě rostoucí.

Textilie se vzduchovou mezerou 4 mm, má výrazně nižší hodnoty chladicího tepelného toku, než textilie bez vzduchové mezery a se vzduchovou mezerou 2 mm.

Celkově má i logaritmická regresní křivka mírnější průběh než je tomu u křivek s vyšším chladícím tepelným tokem.

U textilie se vzduchovou mezerou 6, 8 a 10 mm, můžeme pozorovat ještě nižší hodnoty RWVP s přibývající vlhkostí. Z toho vyplývá, že s přibývající vzduchovou mezerou, nemá zvyšující se vlhkost velký vliv na chladící tepelný tok. Křivka u textilií se vzduchovou mezerou 6, 8 a 10 mm je proto téměř lineárního charakteru.



Obr. 23: Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RET u materiálu bavlna-polyester

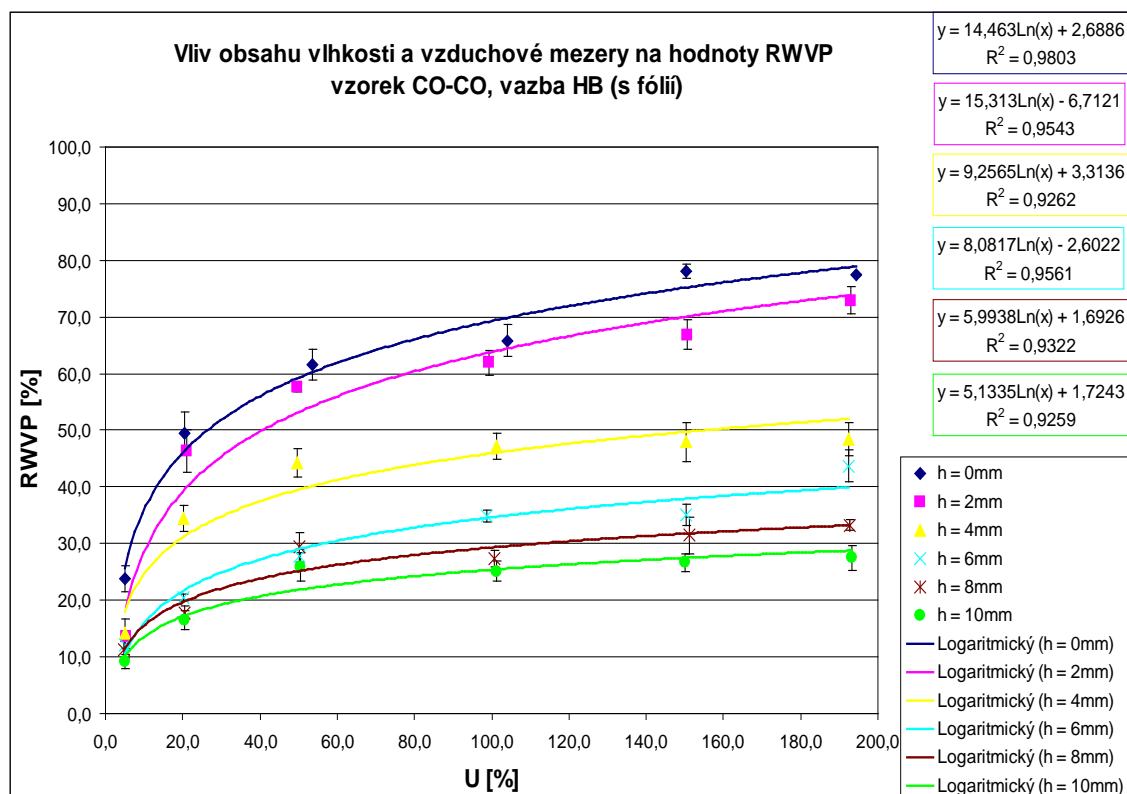
Na obr. 23 je porovnán vliv vlhkosti a vliv vzduchových mezer na výparný odpor (RET) měřené textilie.

Křivky se vzduchovou mezerou  $h = 0$  mm a  $h = 2$  mm mají velice podobný průběh, a naměřené hodnoty se nacházejí velice blízko sebe. Překrývá se i většina chybových úseček v těchto dvou křivkách. Můžeme tedy říci, že rozdíl není statisticky významný. U těchto dvou křivek byl také naměřen nejnižší výparný odpor.

Z výše uvedených dat na obr. 23, je vidět výraznější pokles hodnot výparného odporu s rostoucím obsahem vlhkosti mezi hodnotami 5 – 20%.

### 3.8.3 Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na RWVP a RET u materiálu 100% bavlna

Na obr. 24 a 25 jsou znázorněny naměřené hodnoty materiálu se složením 100% bavlna. Textilie je tkaná ve vazbě hrotový kepr. Plošná hmotnost byla 315 g/m<sup>2</sup>.



Obr. 24: Vliv vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RWVP u materiálu 100% bavlna

Na obr. 24 je zaznamenán vliv vlhkosti a vliv vzduchových mezer na relativní chladicí tok (chladicí efekt) 100% bavlněné textilie.

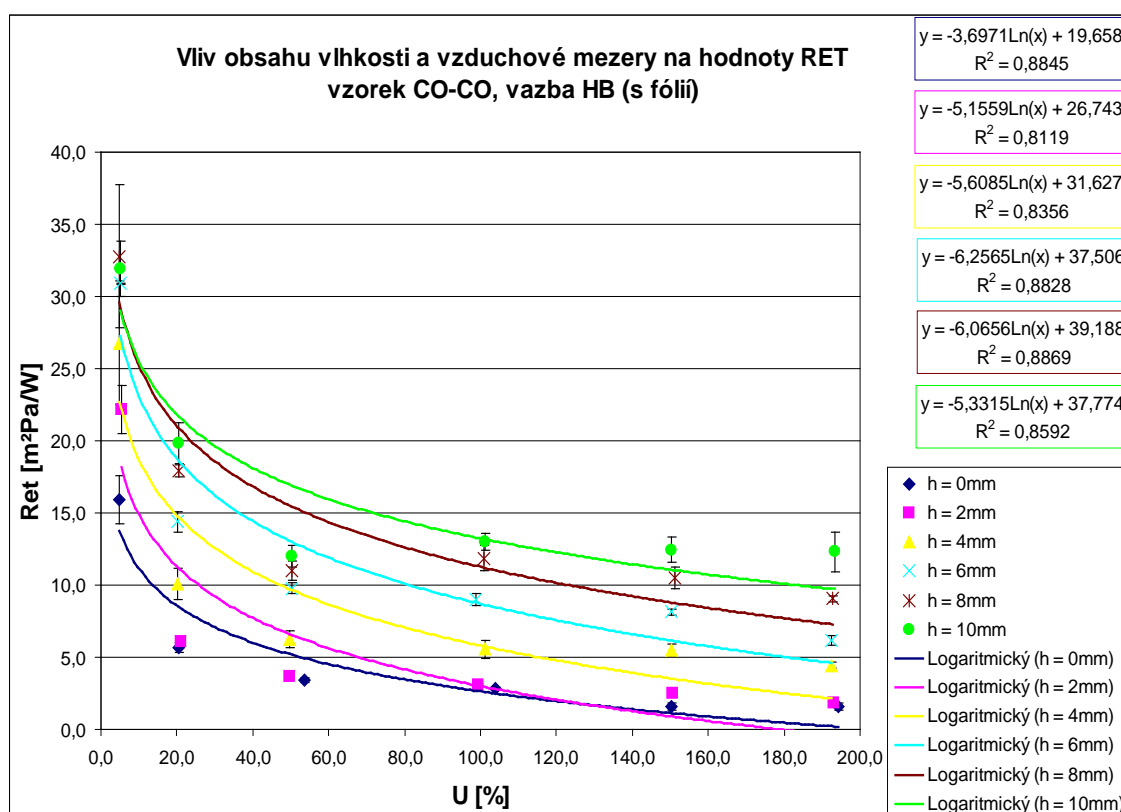
Z obrázku vyplývá, že pokud zvyšujeme vlhkost měřeného vzorku, zvyšuje se také RWVP.

Na obrázku je vidět, že při měření se vzduchovou mezerou  $h = 0$  mm bylo dosaženo vyšších hodnot, než u naměřených hodnot textilie bez vzduchové mezery. U textilie se vzduchovou mezerou  $h = 0$  mm byl tedy naměřen vyšší chladicí tepelný tok, než u textilie se vzduchovou mezerou  $h = 2$  mm. Z pohledu chybových úseček však vidíme, že ve vlhkosti přibližně 20% a ve vlhkosti kolem 100% se tyto křivky překrývají. Z toho vyplývá, že mezi křivkami bez vzduchové mezery a se vzduchovou mezerou 2 mm je statisticky nevýznamný rozdíl.

U textilie se vzduchovou mezerou 4 mm, vidíme výrazný pokles RWVP při zvyšující se vlhkosti oproti textiliím bez vzduchové mezery a se vzduchovou mezerou 2 mm.

U textilie se vzduchovou mezerou 6, 8 a 10 mm je logaritmická regresní křivka pouze mírně stoupající.

Křivky se vzduchovou mezerou 8 a 10 mm, se pohybují ve velice podobných hodnotách, z čehož vyplývá, že při zvyšující se vzduchové mezeře od 6 mm, jsou naměřené hodnoty RWVP podobné.



Obr. 25: Vliv obsahu vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RET u materiálu 100% bavlna

Na obr. 25 je zobrazen vliv obsahu vlhkosti na výparný odpor měřeného vzorku a vliv vzduchové mezery v rozmezí  $h = 0$  až 10 mm na výparný odpor textilie se 100% zastoupením bavlny, s vazbou hrotový kepr.

Nejnižší výparný odpor byl zjištěn u měření se vzduchovou mezerou  $h = 0$  mm a  $h = 2$  mm s vlhkostí mezi 180 – 200%. U těchto křivek, zejména u vyšších vlhkostí, je jejich rozdíl statisticky nevýznamný. Rozdíl udává pouze textilie se vzduchovou

mezerou 2 mm při vlhkosti 5%, kde byl naměřen vyšší výparný odpor, než u textilie bez vzduchové mezery.

Nejvyšší výparný odpor byl naměřen naopak u textilie se vzduchovou mezerou 10 mm a s vlhkostí kolem 5%.

Pro všechny tři měřené materiály, polypropylen - bavlna, polyester - bavlna i pro bavlnu platí, že nejvyšší chladicí tepelný tok byl vždy zjištěn u textilií měřených bez vzduchové mezery. U textilií měřených se vzduchovou mezerou 2 mm, je RWVP menší než u textilií bez vzduchové mezery. Výrazně menší chladicí tepelný tok je u textilií se vzduchovou mezerou 4 mm. U textilií se vzduchovou mezerou 6, 8 a 10 mm je chladicí tepelný tok nejnižší.

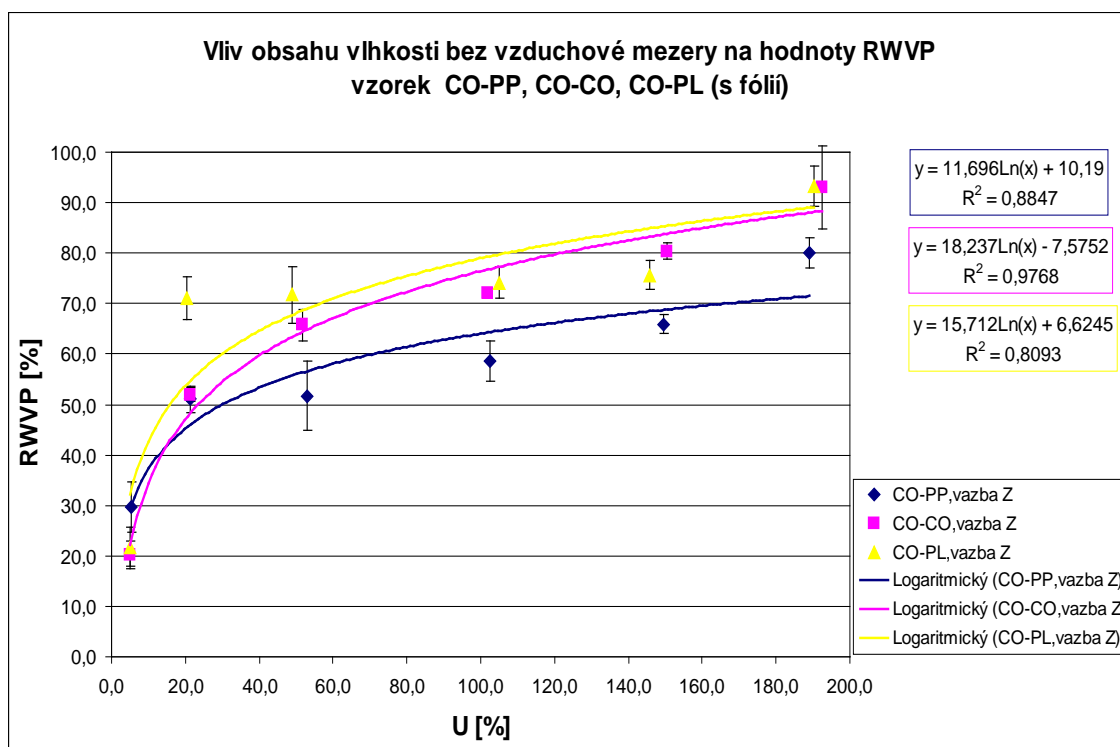
Na obrázcích 21, 23 a 25, které popisují závislost výparného odporu na vlhkosti, je vidět stejný průběh. Nejvyšší výparný odpor má textilie se vzduchovou mezerou 10 mm a nejnižší výparný odpor textilie bez vzduchové mezery a se vzduchovou mezerou 2 mm. Nejstrmější část u všech křivek je v oblasti 5 – 20% vlhkosti. Poté už je s přibývajícím vlhkostí pokles výparného odporu méně výrazný.

Z obrázků 20 až 25 je vidět nepřímá úměra mezi RWVP a RET. Čím vyšší je tedy chladicí tepelný tok, tím nižší je výparný odpor měřeného vzorku.

#### **3.8.4 Vliv materiálu na hodnoty RWVP**

Do obr. 26 - 32 jsou zaneseny hodnoty všech tří měřených materiálů bavlna – polypropylen, bavlna – polyester a 100% bavlna. Všechny 3 materiály byly utkány ve vazbě kepr pravého směru. Jsou zde uvedeny materiály při zvyšování vlhkosti a porovnány materiály z pohledu chladicího tepelného toku textilie (RWVP). Průměrná hodnota plošné hmotnosti pro materiál bavlna – polypropylen je  $318 \text{ g/m}^2$ , pro bavlna – polyester je to hodnota  $348 \text{ g/m}^2$  a pro 100% bavlnu je průměrná plošná hmotnost  $309 \text{ g/m}^2$ .



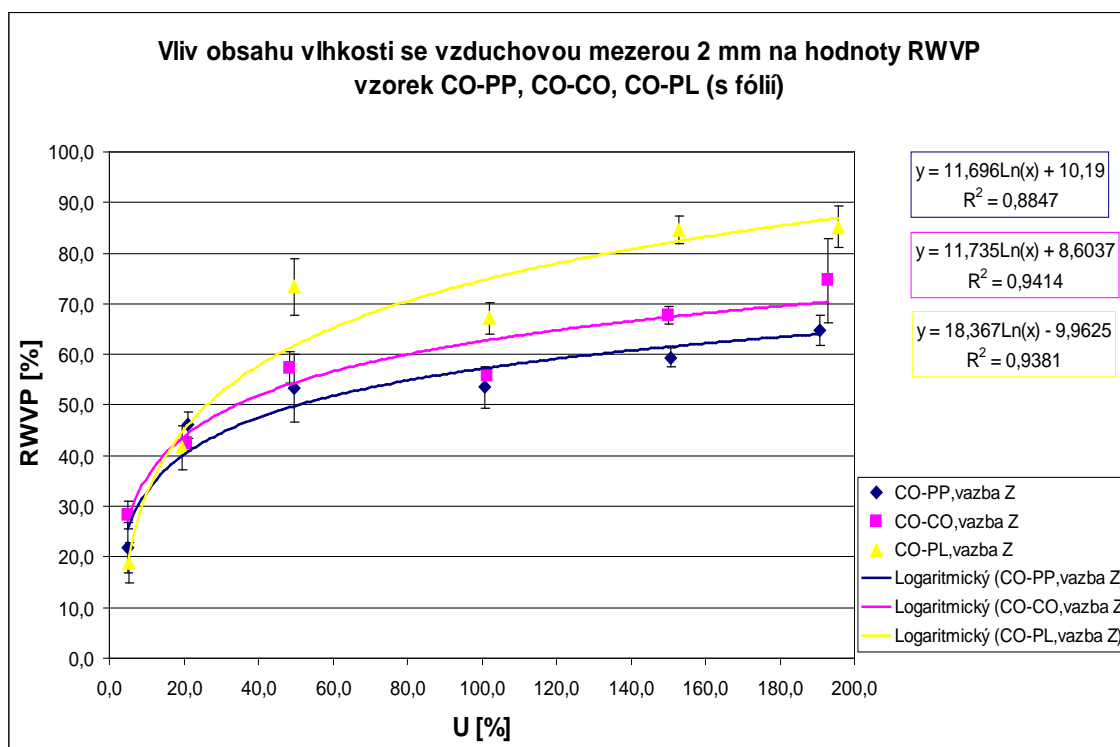


Obr. 26: Vliv obsahu vlhkosti bez vzduchové mezery na hodnoty RWVP u materiálů bavlna-polypropylen, 100% bavlna a bavlna polyester

Na obr. 26 jsou zobrazeny hodnoty všech tří zkoušených materiálů bez vzduchové mezery. V modré barvě jsou vyneseny hodnoty pro materiál bavlna – polypropylen, které byly proloženy regresní křivkou. Růžová křivka představuje naměřené hodnoty pro materiál 100% bavlna a žlutá pro materiál bavlna - polyester.

Z obrázku je zřejmé, že křivka, která dosahovala nejnižších hodnot je bavlna – polypropylen, má tedy nejmenší chladicí efekt ze všech zkoušených materiálů. Nejmenší chladicí efekt nastává díky hydrofobitě polypropylenových vláken.

Velice podobný chladicí efekt mají materiály 100% bavlna a bavlna - polyester. Z pohledu vykreslené křivky má vyšší chladicí efekt bavlna – polyester, ale z pohledu chybových úseček je rozdíl statisticky neprokázáný.



Obr. 27: Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 2mm na hodnoty RWVP u materiálů bavlna-polypropylen, 100% bavlna a bavlna-polyester

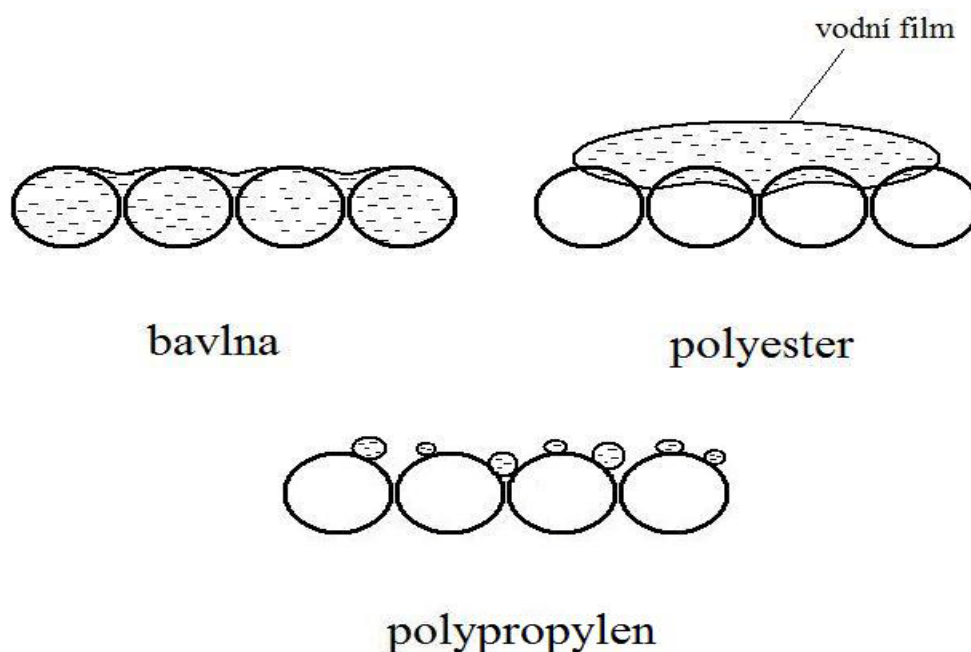
Na obr. 27 je pro simulaci vzduchové mezery použito mezikruží  $h = 2$  mm. Pro všechny materiály platí, že se vzrůstající vlhkostí vzorku roste i chladicí tepelný tok. Nejstrmější nárůst křivky je vidět v intervalu 5 až 20%. Zde je růst chladicího efektu textilie nejvýraznější. Poté se hodnoty RWVP s přibývajícím vlhkostí ještě zvyšují, ale už ne tak razantně.

Pokud se zaměříme na každý materiál zvlášť, vidíme, že výrazný rozdíl z pohledu chladicího efektu, mají textilie v nejvyšší vlhkosti, což je zhruba mezi 190 a 200%. Naopak minimální rozdíl je vidět ve vlhkostech 5 – 20%.

Nejvyšší chladicí efekt byl naměřen u zkoušeného vzorku bavlna – polyester, kde křivka dosáhla nejvyšších hodnot. Ovšem z pohledu chybových úseček je rozdíl statisticky neprůkazný. Nižší hodnoty RWVP byly naměřeny u materiálu 100% bavlna. Nejnížší hodnoty byly naměřeny u materiálu bavlna – polypropylen. Tento materiál má tedy nejmenší chladicí efekt ze všech zkoušených materiálů.

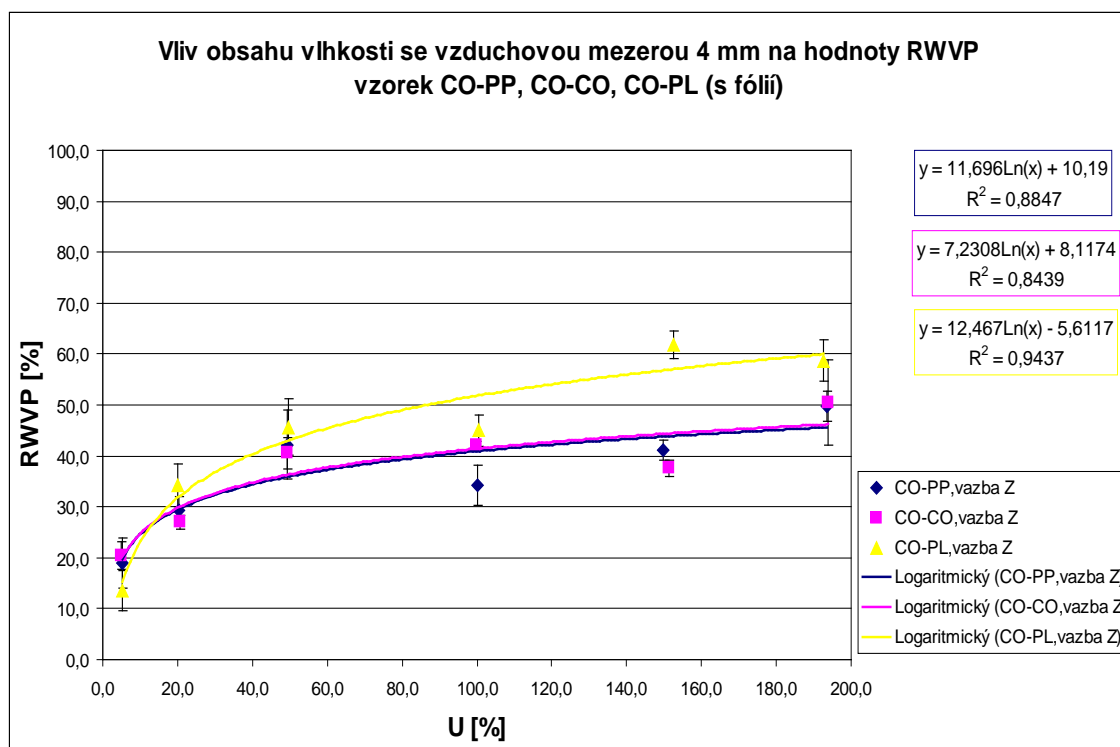
Jedno z možných vysvětlení tohoto výsledku z pohledu chladicího efektu je, že polyester je vlákno, které přijímá vodu tzv. adsorpcí, což znamená, že molekuly vody jsou vázány na povrch vlákna a díky tomu se vytváří vodní film. Oproti tomu bavlna je

vlákno hydrofilní. Přijímá vodu tzv. absorpcí, kdy bavlněná vlákna bobtnají, snižuje se pórovitost a vodní pára prostupuje dovnitř do struktury vlákna, vzniká vysoká zavlhčená plocha a vytváří se vysoká adheze [9]. Díky tomu má 100% bavlna nižší chladicí efekt než bavlna - polyester. Nejmenší chladicí efekt nastává u polypropylenových vláken díky jejich hydrofobitě. Na vláknech tak nevzniká vodní film viz obr. 28.



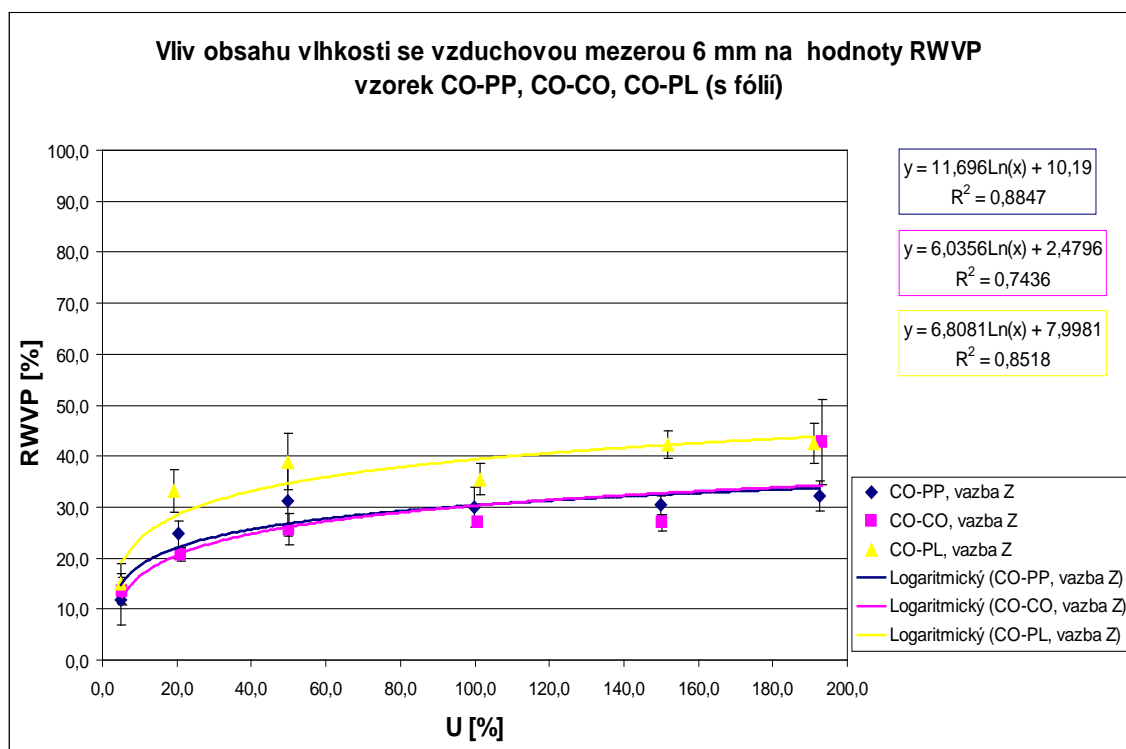
Obr. 28: Stav vláken bavlny, polyesteru a polypropylenu při zavlhčení

Jak už bylo řečeno, není v materiálech bavlna - polyester a 100% bavlna z pohledu RWVP až takový rozdíl také díky plošným hmotnostem materiálů. Bavlna má plošnou hmotnost  $309 \text{ g/m}^2$ , bavlna – polyester  $348 \text{ g/m}^2$ . Z práce [10] vyplývá, že čím je nižší plošná hmotnost textilie, tím vyšší je hodnota RWVP.



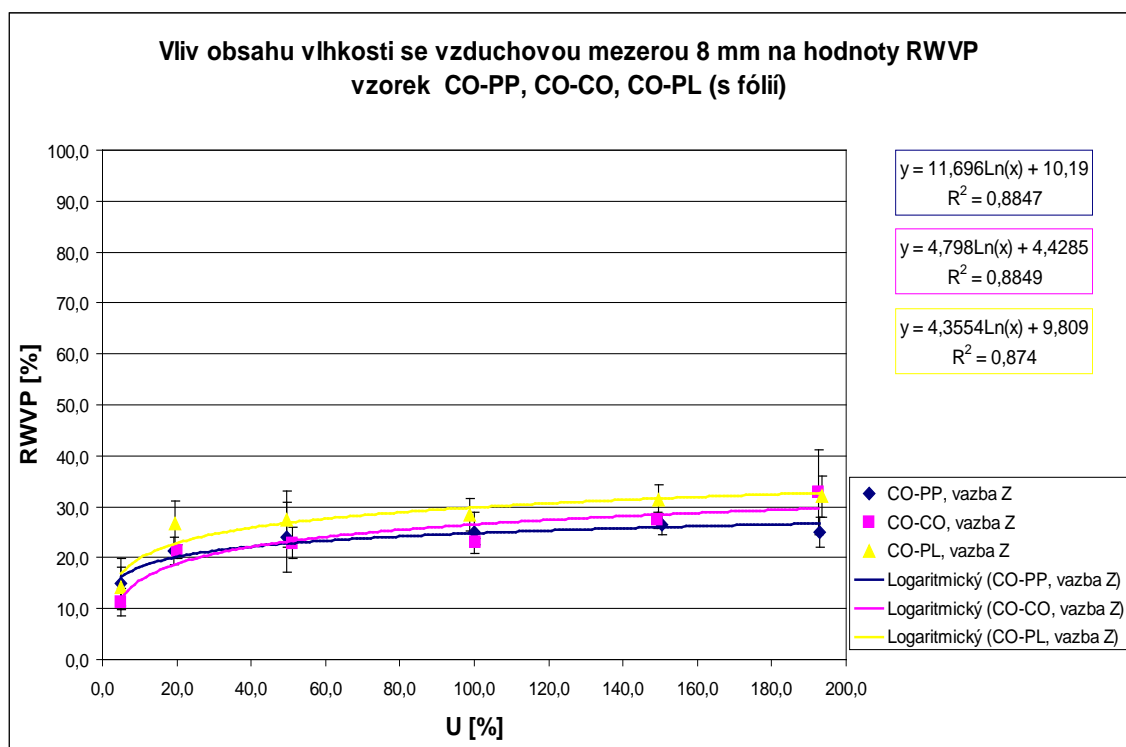
**Obr. 29:** Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 4mm na hodnoty RWVP u materiálů bavlna-polypropylen, 100% bavlna a bavlna-polyester

Na obr. 29 jsou vyneseny hodnoty pro všechny tři materiály, se vzduchovou mezerou 4 mm. Zde je vidět, že vzrůstající tloušťka vrstvy vzduchu vyúsťuje v pokles hodnoty RWVP. Opět jako na předešlých obrázcích má při tloušťce vrstvy vzduchu 4mm nejvyšší chladicí efekt textilie bavlna – polyester. Ale z pohledu chybových úseček je rozdíl statisticky nevýznamný.

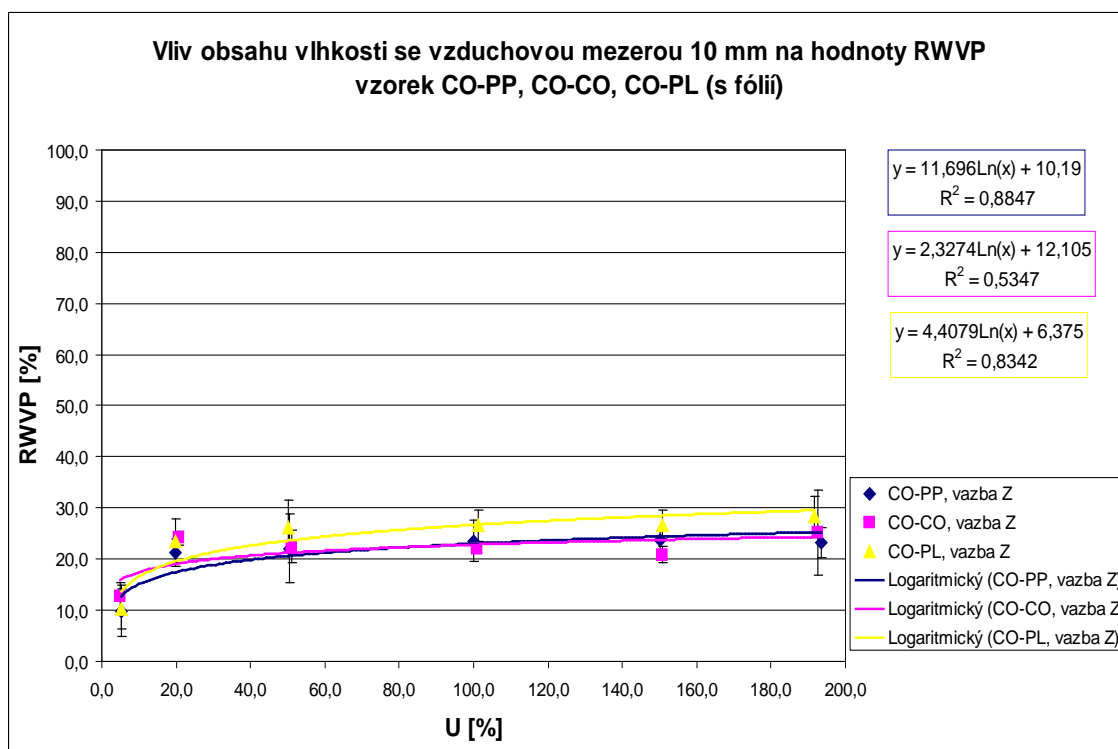


Obr. 30: Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 6mm na hodnoty RWVP u materiálů bavlna-polypropylen, 100% bavlna a bavlna-polyester

Na obr. 30 je vidět podobný průběh jako na obr. 29, pouze chladicí tepelný tok je nižší s přibývajícím tloušťkou vzduchové mezery.



Obr. 31: Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 8mm na hodnoty RWVP u materiálů bavlna-polypropylen, 100% bavlna a bavlna-polyester

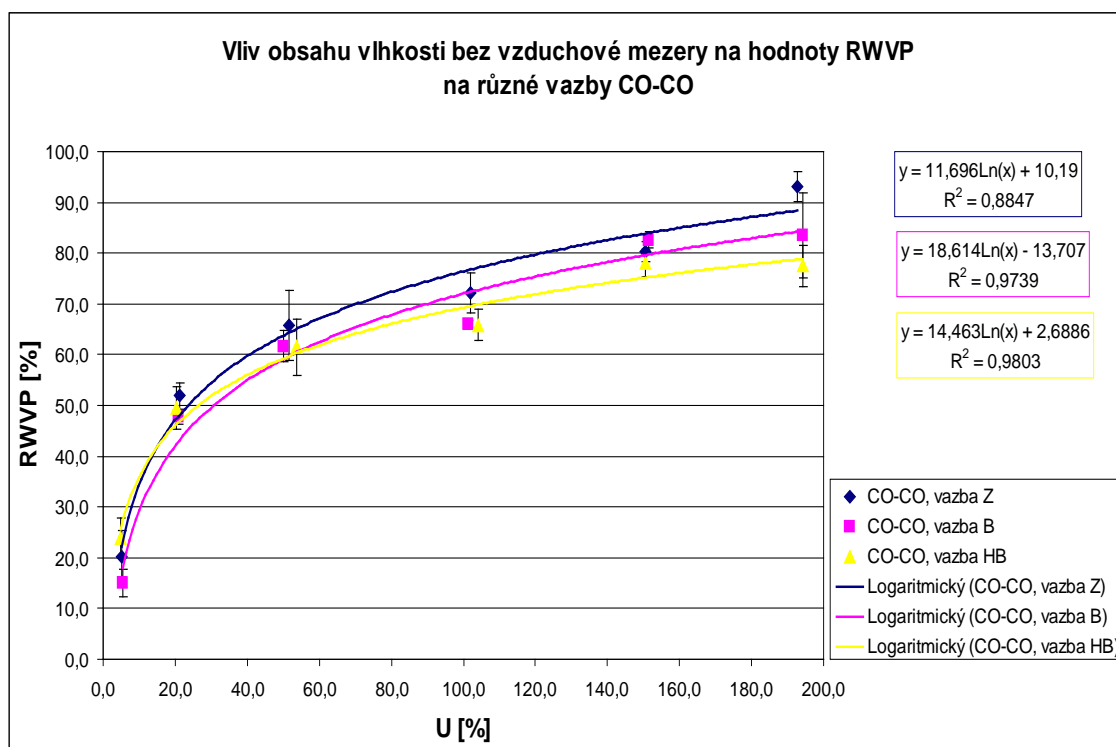


Obr. 32: Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 10mm na hodnoty RWVP u materiálů bavlna-polypropylen, 100% bavlna a bavlna-polyester

Na obr. 31 a 32, vidíme velice podobný průběh. Jsou to měřené vzorky bavlna – polypropylen, bavlna – polyester a 100% bavlna, s tloušťkou vzduchové mezery 8 a 10mm. Tyto obrázky dokládají, že se zvyšující se tloušťkou vzduchu se snižuje chladicí tepelný tok textilie. Dále při zvyšující se tloušťce vzduchové mezery, se snižuje rozdíl RWVP při nízké a vysoké vlhkosti. Křivka má díky tomu téměř lineární průběh.

### 3.8.5 Vliv vazby na hodnoty RWVP

V této kapitole na obr. 33 jsou zaneseny hodnoty materiálu 100% bavlna ve třech vazbách a to kepr pravého směru (Z), hrotový kepr (HB) a kepr lomený ve střídě (B). Na obrázku jsou vždy vidět porovnávané vazby při určité vzduchové mezeře. Jsou zde uvedeny vazby při zvyšování vlhkosti a porovnány z pohledu chladicího tepelného toku textilie. Průměrná hodnota plošné hmotnosti pro 100% bavlnu je  $309 \text{ g/m}^2$ .



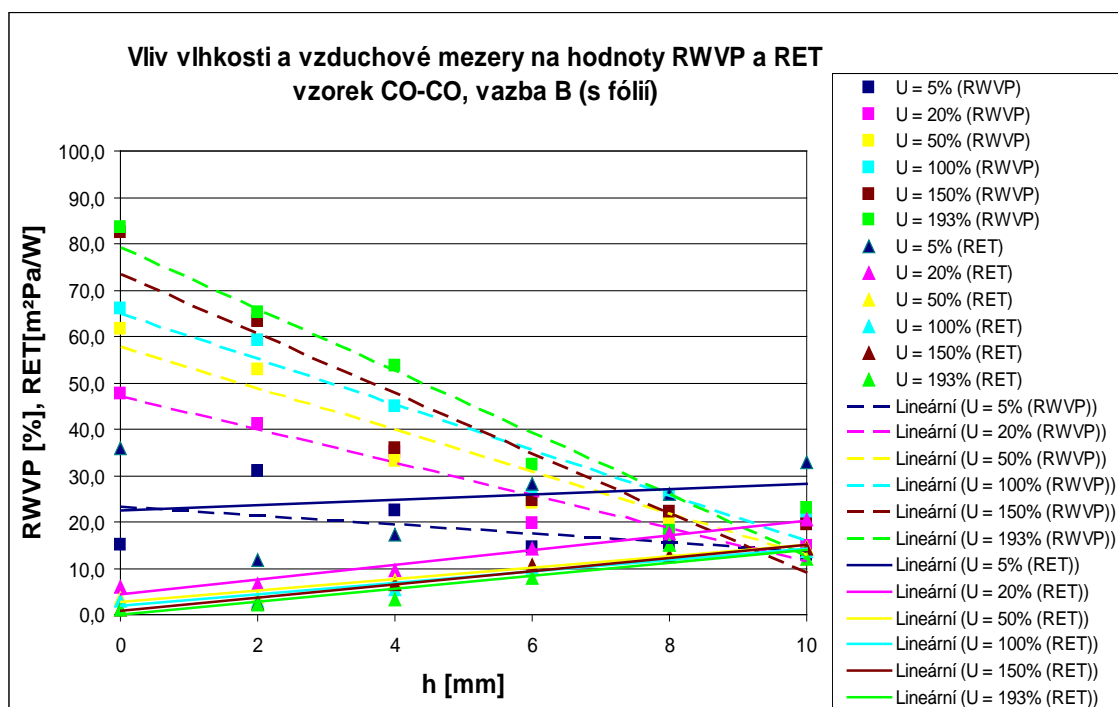
Obr. 33: Vliv obsahu vlhkosti bez vzduchové mezery na hodnoty RWVP na různé vazby u materiálu 100% bavlna

Na obr. 33 jsou znázorněny hodnoty RWVP měřené textilie bez vzduchové mezery. Z měření vyplývá, že vazby nemají velký vliv na hodnoty chladicího tepelného toku textilie. Z pohledu chybových úseček jednotlivých křivek není ve vazbách prokázán rozdíl. Stejný průběh můžeme pozorovat u tohoto materiálu s jednotlivými vazbami s tloušťkou vzduchové mezery 2, 4, 6, 8 a 10 mm. U ostatních materiálů s těmito třemi vazbami je vidět podobný průběh viz příloha 3.

### 3.8.6 Efekt vlhkosti a tloušťky vzduchové mezery na RWVP a RET

Na obr. 34, 35 a 36 vidíme netypicky vynesené hodnoty. Na vodorovné ose je vynesena tloušťka vzduchové mezery v mm. Na svislé ose byly vyneseny hodnoty jak chladicího tepelného toku (RWVP) v procentech, tak hodnoty výparného odporu (RET) v  $[m^2Pa/W]$ . Každý obrázek je vytvořen z hodnot jednoho ze tří měřených materiálů s totožnou vazbou kepr lomený ve střídě. V obrázcích jsou použity hodnoty měřené s nepropustnou fólií, což znamená, že byl měřen chladicí tepelný tok textilie a výparný odpor měřené textilie.

K vyhodnocení bylo použito grafického znázornění lineární regresní přímky, protože nejlépe prokládají data.



Obr. 34: Závislost chladicího tepelného a výparného odporu na tloušťce vzduchové mezery při různých stupních vlhkosti na materiálu 100% bavlna

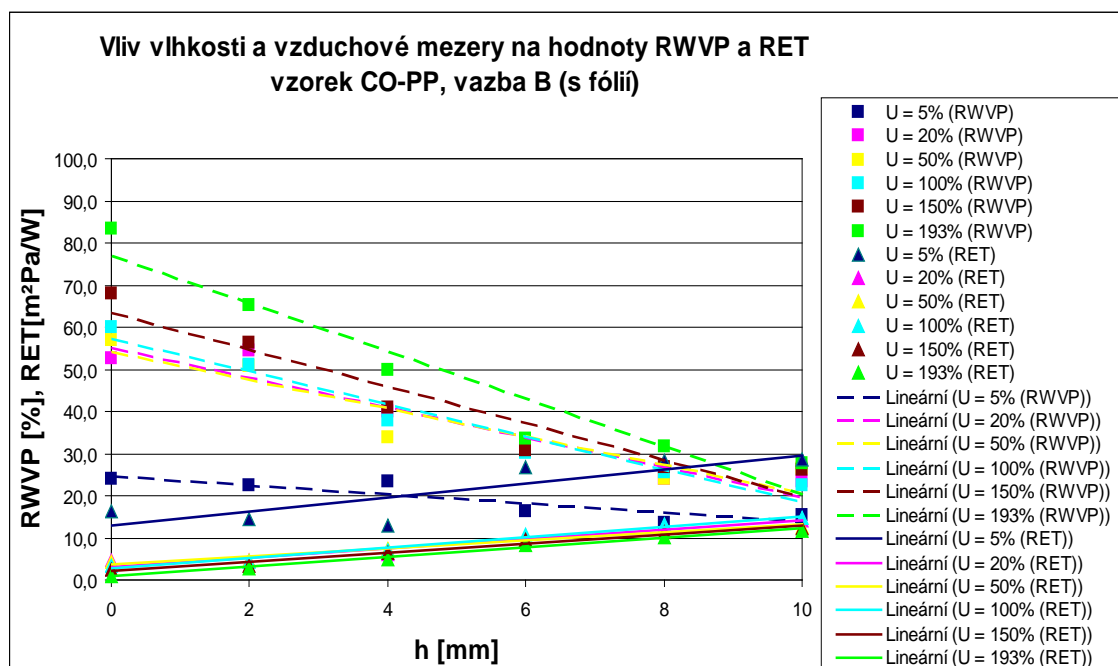
Na obr. 34 jsou znázorněny hodnoty naměřené u materiálu 100% bavlna v různých stupních vlhkosti, které jsou od sebe odlišeny různými barvami lineárních regresních přímek. Každá barva lineární regresní přímky představuje určitou vlhkost textilie. Přímky, které jsou čárkované představují efekt vlhkosti a tloušťky vzduchové mezery na RWVP. Přímky, které jsou vytvořeny z plné čáry představují efekt vlhkosti a tloušťky vzduchové mezery na RET.

Na obrázku 34 vidíme, že čím vyšší je obsah vlhkosti textilie, tím je vyšší RWVP a nižší výparný odpor. To dokazuje například zelená čárkovaná přímka, která popisuje vzorek s vlhkostí zhruba 193% a RWVP dosahuje nejvyšších hodnot. Oproti tomu přímka s plnou zelenou čarou je také zhruba ve vlhkosti 193%. Ovšem jsou zde uvedeny hodnoty výparného odporu a proto je přímka nejnižší v grafu s nejnižší hodnotou RET. Opačně jak tloušťka vrstvy vzduchu roste, RWVP klesá a výparný odpor vzrůstá.

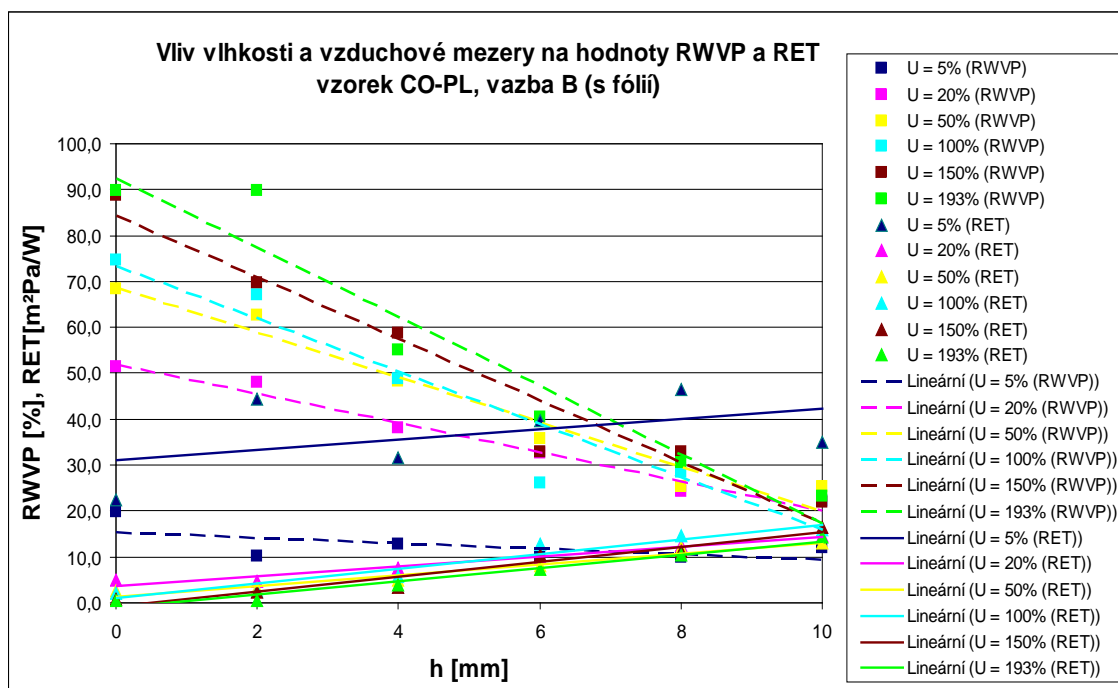
Z tohoto obrázku je tedy patrné, že chladicí efekt pocíťovaný člověkem, který je oblečen do mokré vrstvy oděvu, závisí na vlhkosti textilie a na tloušťce vrstvy vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií. Nejvyšší tepelný přenos, neboli chladicí efekt, je u textilie dotýkající se přímo pokožky, tedy bez vzduchové mezery a s nejvyšší



vlhkostí textilie. Podobný průběh je pozorován i na obr. 35 a 36, kde jsou v grafu vyneseny hodnoty pro materiál bavlna – polypropylen a bavlna – polyester.



Obr. 35: Závislost chladicího tepelného toku a výparného odporu na tloušťce vzduchové mezery při různých stupních vlhkosti na materiál bavlna-polypropylen

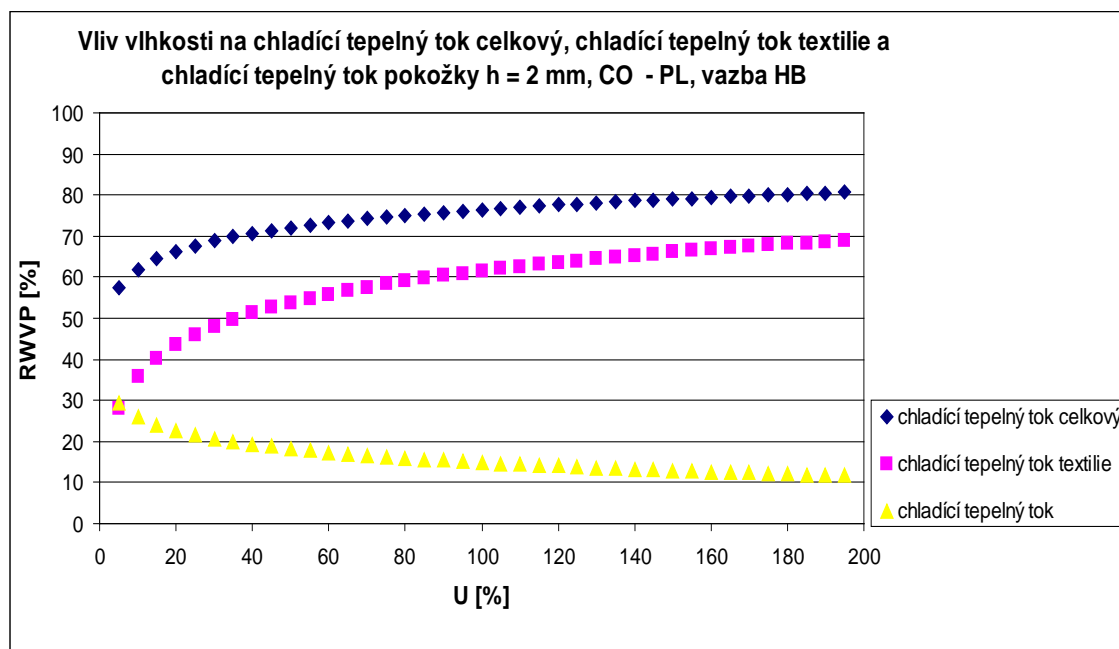


Obr. 36: Závislost chladicího tepelného toku a výparného odporu na tloušťce vzduchové mezery při různých stupních vlhkosti u materiálu bavlna-polyester

### 3.8.7 Stanovení chladicího tepelného toku pokožky

V této kapitole se podařilo stanovit hodnoty pro chladicí tepelný tok pokožky pomocí vztahu, který je založen na chladícím tepelném toku celkovém a chladícím tepelném toku textilie, viz kapitola 3.7.1 .

Na obrázku 37, 38 a 39 jsou vyneseny hodnoty pro materiál bavlna - polyester ve vazbě hrotový kepr (HB).

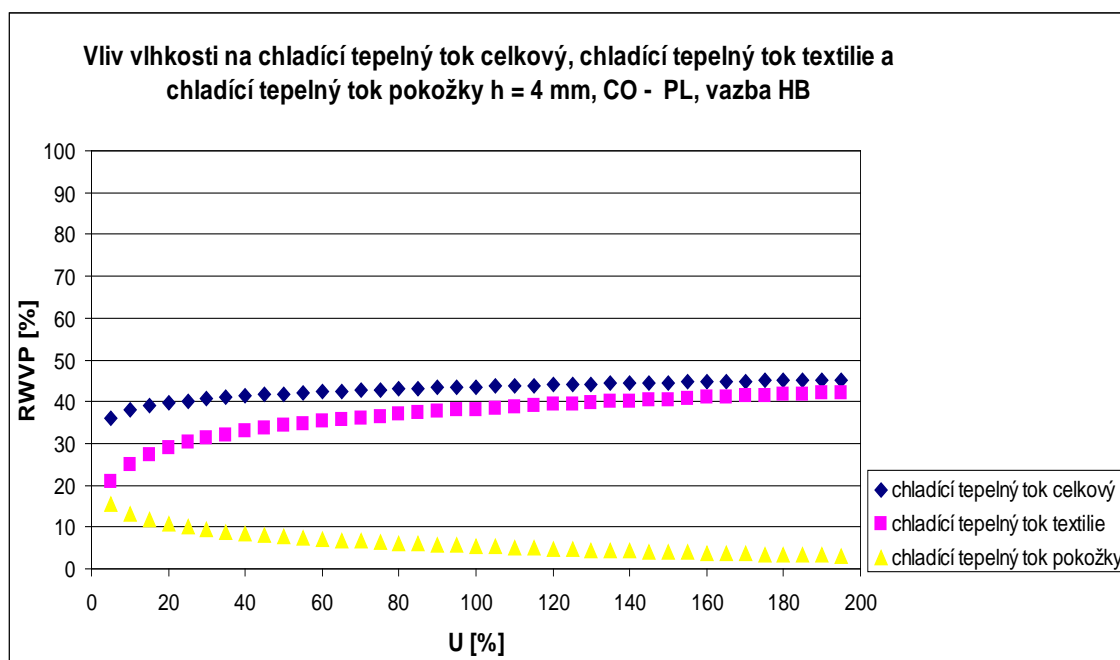


Obr. 37: Graficky znázorněný chladicí tepelný tok pokožky, textilie a celkový chladicí tepelný tok,  $h = 2 \text{ mm}$

Na obrázku 37 jsou znázorněny hodnoty z měření se vzduchovou mezerou 2 mm. Na obrázku jsou pomocí rovnice logaritmické regresní křivky vyneseny hodnoty pro vlhkosti v menších intervalech. Těmito hodnotami je graficky znázorněn chladicí tepelný tok celkový, který dosahuje nejvyšších hodnot chladicího tepelného toku, protože se skládá jak z odparu potu od pokožky, tak z odparu vlhkosti z mokré textilie. Tato kombinace vytváří nejvyšší chladicí efekt.

Hodnoty chladicího tepelného toku textilie byly změřeny a z rovnice logaritmické regresní křivky dopočítány další vlhkosti a zobrazeny v grafu. Vzhledem k tomu, že tyto hodnoty značí odpar vlhkosti pouze z mokré textilie a následně chladicí efekt pouze textilie, hodnoty RWVP jsou nižší, než u chladicího tepelného toku celkového.

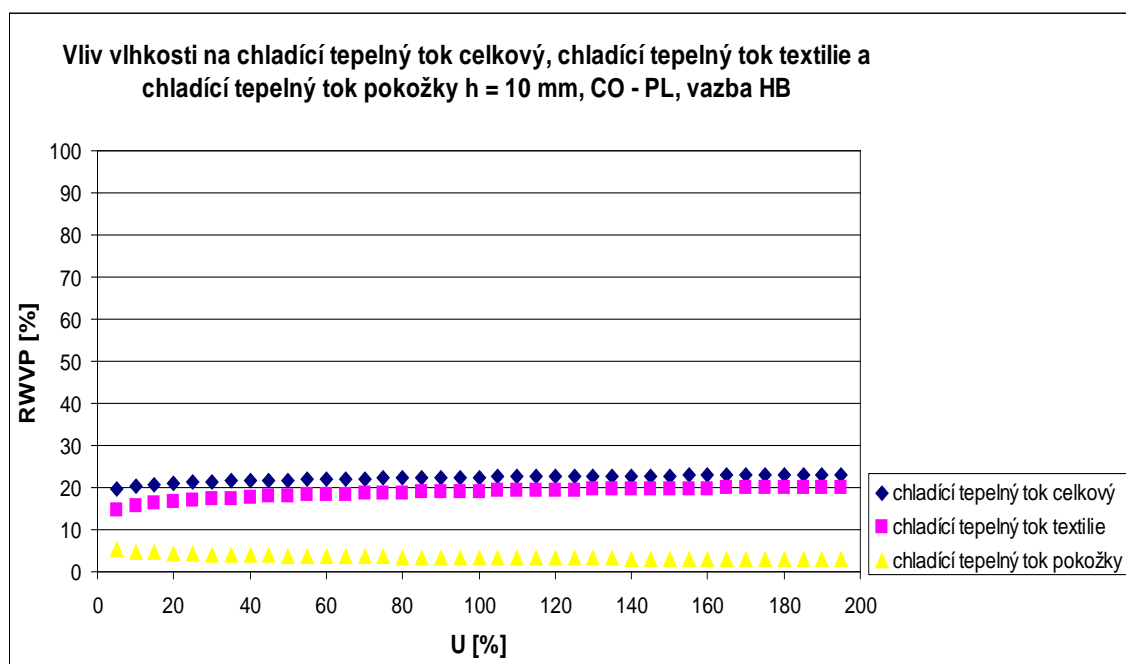
Chladicí tepelný tok pokožky byl dopočítán z naměřených hodnot chladicího tepelného toku celkového a textilie. Následně byly výsledné hodnoty zaznamenány do grafu. Chladicí tepelný tok pokožky byl získán odečtením chladicího tepelného toku textilie od chladicího tepelného toku celkového. Díky tomu, že největší rozdíl mezi  $RWVP_{\text{celkovému}}$  a  $RWVP_{\text{textilie}}$  je mezi 5 – 20% vlhkosti textilie, nejvyšší chladicí efekt u pokožky je pocíťován také mezi 5 – 20% vlhkosti textilie. Poté s přibývajícím vlhkostí je pocíťovaný chladicí efekt menší.



Obr. 38: Graficky znázorněný chladicí tepelný tok pokožky, textilie a celkový chladicí tepelný tok,  $h = 4 \text{ mm}$

Na obrázku 38 jsou pomocí rovnice logaritmické regresní křivky vyneseny hodnoty RWVP v závislosti na vlhkosti. Opět jsou v grafu zaznamenány hodnoty pro chladicí tepelný tok celkový, chladicí tepelný tok textilie a dopočítané hodnoty chladicího tepelného toku pokožky, měřené se vzduchovou mezerou 4 mm.

Na obrázku je vidět závislost a propojení jednotlivých chladicích tepelných toků. O co menší je rozdíl mezi chladicím tepelným tokem celkovým a textilie, o to menší je chladicí tepelný tok pokožky. Můžeme tedy mluvit o přímé úměře rozdílu obou toků a výsledného toku pokožky.



Obr. 39: Graficky znázorněný chladicí tepelný tok pokožky, textilie a celkový chladicí tepelný tok,  $h = 10$  mm

Na obr. 39 jsou zaznamenány hodnoty pro chladicí tepelný tok celkový, chladicí tepelný tok textilie a dopočítané hodnoty chladicího tepelného toku pokožky, měřené se vzduchovou mezerou 10 mm. Na obrázku je vidět, že chladicí efekt je výrazně menší, než na předchozích obrázcích. Křivky jsou téměř lineárního charakteru, což znamená, že zvyšování vlhkosti nemá na hodnoty RWVP pro vzduchovou mezeru 10 mm moc velký vliv. Díky minimálnímu rozdílu mezi chladícím tepelným tokem celkovým a textilie, má také chladicí tepelný tok pokožky velice malé hodnoty a tím je i chladicí efekt velice malý.

## 4. Závěr

V této práci byly měřeny vzorky s materiálovým složením 100% bavlna, bavlna – polyester a bavlna – polypropylen. Vzorky jsou tkané ve vazbách kepr lomený ve střídě, kepr hrotový a kepr pravého směru. Práce byla zaměřena na měření paropropustnosti a výparného odporu. Vzorky byly měřeny v suchém stavu a v šesti stupních vlhkosti a s různými tloušťkami mezikruží pro simulaci vzduchové mezery.

V práci byl vyhodnocen vliv vzduchové mezery u měřených materiálů v šesti stupních vlhkosti na chladicí tepelný tok (RWVP) a výparný odpor (RET) samotné textilie. Dílčím cílem bylo zhodnotit vliv materiálového složení vzorků a vazby na chladicí tepelný tok textilie (RWVP).

Z naměřených hodnot všech tří materiálů vyplývá, že nejvyšší chladicí tepelný tok byl naměřen u textilií měřených bez vzduchové mezery. U textilií měřených se vzduchovou mezerou 2 mm, byl chladicí tepelný tok menší. Výrazně menší chladicí tepelný tok byl naměřen u textilií se vzduchovou mezerou 4 mm. U textilií se vzduchovou mezerou 6, 8 a 10 mm byl změřen chladicí tepelný tok nejnižší. Pro všechny materiály platí, že se vzrůstající vlhkostí vzorku vzrůstá i chladicí tepelný tok.

Dále byl u všech materiálů naměřen nejvyšší výparný odpor u textilie se vzduchovou mezerou  $h = 10$  mm a nejnižší výparný odpor u textilie bez vzduchové mezery  $h = 0$  mm a se vzduchovou mezerou  $h = 2$  mm. Nejstrmější část u všech křivek byla v oblasti 5 – 20% vlhkosti. Poté už byl s přibývajícím vlhkostí pokles výparného odporu mírnější.

Na obrázcích 20 až 25 je vidět nepřímá úměra mezi RWVP a RET. Čím vyšší je tedy chladicí tepelný tok, tím nižší je výparný odpor měřeného vzorku.

Pokud se zaměříme na efekt vlhkosti a tloušťky vzduchové mezery na RWVP a RET, chladicí efekt pocíťovaný člověkem, který je oblečen do mokré vrstvy oděvu, závisí na vlhkosti textilie a na tloušťce vrstvy vzduchové mezery mezi pokožkou a textilií. Nejvyšší chladicí efekt byl naměřen u textilie přímo na pokožce, tedy bez vzduchové mezery a s nejvyšší vlhkostí textilie.

Z pohledu vlivu materiálu na hodnoty RWVP, byl nejvyšší chladicí efekt naměřen u zkoušeného vzorku bavlna – polyester. Nižší hodnoty RWVP byly naměřeny

u materiálu 100% bavlna. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u materiálu bavlna – polypropylen. Tento materiál má tedy nejmenší chladicí efekt ze všech zkoušených materiálů.

Pokud se zaměříme na vliv vazby na hodnoty RWVP, z měření vyplynulo, že vazby nemají velký vliv na hodnoty chladicího tepelného toku textilie.

V poslední části této práce se podařilo zjistit hodnoty pro chladicí tepelný tok pokožky pomocí vztahu, který je založen na chladícím tepelném toku celkovém a chladícím tepelném toku textilie. Chladicí tepelný tok pokožky byl získán odečtením chladicího tepelného toku textilie od chladicího tepelného toku celkového.

Chladicí tepelný tok pokožky nebyl ještě v žádné práci vyjádřen vztahem a pomocí vypočítaných hodnot graficky znázorněn.

Z grafů a z vyjádřeného vztahu vyplývá závislost a propojení jednotlivých chladících tepelných toků. O co menší je rozdíl mezi chladícím tepelným tokem celkovým a textile, o to menší je chladicí tepelný tok pokožky. Můžeme tedy mluvit o přímé úměře rozdílu obou toků a výsledného toku pokožky.

## 5. Použitá literatura

- [1] Horníček P.: Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla, TU Liberec 2002
- [2] Hes L., Sluka P.: Úvod do komfortu textilií, skripta TU Liberec 2005, ISBN 80-7083-926-0.
- [3] Kuneš J., Veselý Z., Honner M.: Tepelné bariéry, nakladatelství Akademie věd České republiky 2003, ISBN 80-200-1218-4
- [4] Hubschmann K.: Kůže-orgán lidského těla, Academia, Praha 1972
- [5] Jánský L.: Vývojová fyziologie I., Základy termoregulace, Státní pedagogické nakladatelství Praha 1, 1990, ISBN 80-7066-240-9
- [6] Staněk J., Kubíčková M.: Oděvní materiály, skriptum VŠST Liberec, 1986
- [7] Interní norma č. 23-304-01/01 Stanovení termofyziologických vlastností textilií, Výzkumné centrum Textil LN00B090, TU Liberec
- [8] Holemá K.: Vliv teploty a vlhkosti vzduchu na měření termofyziologických vlastností textilií pomocí skin modelu, bakalářská práce 2010
- [9] Kovačič V.: Katedra textilních materiálů, zkoušení textilních materiálů, přednáška 4. Vytvořeno dne: 9.3.2008. Dostupné z [http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20080401/ZKB\\_prednaska\\_4.pdf](http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20080401/ZKB_prednaska_4.pdf) [citováno 2.4.2011].
- [10] Hes L., Mario de Araujo: Simulation of the effect of Air Gaps between the Skin and a Wet fabric on Resulting Cooling Flow, Textile Research Journal, 2010
- [11] Kšanda, P.: Vliv vlhkosti na tepelně-izolační vlastnosti vybraných tepelně-izolačních materiálů. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, bakalářská práce 2009
- [12] Průdková, M.: Paropropustnost polopropustných textilií. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, bakalářská práce 2008
- [13] Novotná, M.: Paropropustnost membránových textilií s repelentní úpravou po expozici vodní sprchou. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, bakalářská práce 2010
- [14] Mrázková, P.: Paropropustnost a prodyšnost polopropustných materiálů typu Windstopper. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, bakalářská práce 2009
- [15] Pichová, J.: Tepelný komfort úpletů ze speciálních vláken za vlhka. Liberec: Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, bakalářská práce 2010

- [16] Nilgün Özdil, Arzu Marmaralı, Serap Dönmez Kretzschmar: Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics. International Journal of Thermal Sciences, Volume 46, Issue 12, December 2007, Pages 1318-1322, Ege University, Turkey
- [17] Abhijit Majumdar, Samrat Mukhopadhyay, Ravindra Yadav: Thermal properties of knitted fabrics made from cotton and regenerated bamboo cellulosic fibres. International Journal of Thermal Sciences, Volume 49, Issue 10, October 2010, Pages 2042-2048, Indian Institute of Technology
- [18] Parsons K.C.: Human thermal environment, British Library 1993, ISBN 0 7484 0040 0
- [19] Ing. Vaněček V., CSc.: Sušení, Institut pro výchovu vedoucích pracovníků ministerstva průmyslu ČSR, Praha 1973



## **6. Seznam příloh**

### **Příloha 1**

Přehled použitých materiálů a plošných hmotností jednotlivých vzorků.

### **Příloha 2**

Statistické vyhodnocení naměřených hodnot. Hodnoty jsou pro přehlednost vloženy do tabulek.

### **Příloha 3**

Vliv vlhkosti a vzduchové mezery na hodnoty RWVP u všech tří vazeb s materiálovým složením bavlna – polypropylen, bavlna – polyester a 100% bavlna.

## Příloha 1

Materiál osnova	Materiál útek	Vazba	Jemnost osnovy [tex]	Jemnost útku [tex]	Dostava	Plošná hmotnost [g/m <sup>2</sup> ]
bavlna	polypropylen	kepr pravého směru (Z)	49,25	54	307x280	314
			49,25	54	307x280	317
			49,25	54	307x280	314
		kepr lomený ve střídě (B)	49,25	54	307x280	312
			49,25	54	307x280	315
			49,25	54	307x280	313
		kepr hrotový (HB)	49,25	54	307x280	312
			49,25	54	307x280	310
			49,25	54	307x280	318
bavlna	polyester	kepr pravého směru (Z)	49,25	37	307x408	345
			49,25	37	307x408	349
			49,25	37	307x408	351
		kepr lomený ve střídě (B)	49,25	37	307x408	348
			49,25	37	307x408	347
			49,25	37	307x408	352
		kepr hrotový (HB)	49,25	37	307x408	358
			49,25	37	307x408	360
			49,25	37	307x408	361
bavlna	bavlna	kepr pravého směru (Z)	49,25	49	307x308	306
			49,25	49	307x308	310
			49,25	49	307x308	313
		kepr lomený ve střídě (B)	49,25	49	307x308	308
			49,25	49	307x308	309
			49,25	49	307x308	319
		kepr hrotový (HB)	49,25	49	307x308	313
			49,25	49	307x308	311
			49,25	49	307x308	320

## Příloha 2

*vzorek CO – CO, vazba HB (s fólií)*

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
4,9	8,64	23,9	8,6	2,05	2,32	16,0	2,2	0,35	0,40	19,7	24,4
20,5	9,49	49,5	6,7	3,30	3,73	5,7	6,0	0,34	0,38	51,0	7,4
53,7	3,86	61,5	3,9	2,39	2,70	3,4	10,4	0,35	0,40	67,8	3,7
104,0	3,02	65,9	3,9	2,54	2,88	2,8	11,6	0,33	0,37	78,2	3,3
150,4	0,71	78,1	1,5	1,16	1,31	1,6	7,2	0,11	0,13	80,3	5,1
194,3	0,80	77,5	0,3	0,21	0,24	1,6	1,0	0,02	0,02	83,6	4,7

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,3	5,06	13,7	0,7	0,10	0,11	22,2	6,7	1,48	1,67	19,6	14,0
21,0	2,09	46,4	7,1	3,29	3,72	6,1	4,9	0,30	0,34	46,6	5,7
49,8	2,10	57,7	1,2	0,72	0,82	3,6	4,3	0,16	0,18	67,3	6,9
99,4	2,00	61,9	3,1	1,92	2,17	3,1	2,9	0,09	0,10	76,2	6,9
150,6	0,66	66,9	3,4	2,25	2,54	2,5	8,5	0,21	0,24	80,7	2,6
192,9	1,44	72,9	2,9	2,12	2,40	1,8	12,3	0,23	0,26	80,5	10,4

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
4,9	3,81	14,2	16,1	2,28	2,58	26,8	14,2	3,79	4,29	14,5	29,3
20,1	4,52	34,5	5,8	2,01	2,27	10,1	9,7	0,98	1,11	34,8	6,5
49,8	1,57	44,2	5,0	2,20	2,49	6,3	7,9	0,49	0,56	53,8	3,8
101,1	1,16	47,2	4,3	2,03	2,30	5,5	9,7	0,54	0,61	58,9	5,9
150,4	1,85	48,0	6,4	3,08	3,48	5,5	6,8	0,37	0,42	58,2	4,1
192,4	1,50	48,4	5,3	2,59	2,93	4,5	4,5	0,20	0,23	67,0	2,7

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
5,2	4,22	12,2	17,7	2,16	2,44	30,9	0,1	0,03	0,03	12,9	30,4
20,3	5,04	20,4	2,5	0,51	0,57	14,4	4,5	0,65	0,73	29,5	4,5
50,2	2,17	27,7	4,2	1,17	1,32	9,8	3,4	0,34	0,38	44,6	1,9
98,8	1,28	34,8	2,8	0,99	1,12	9,0	4,3	0,39	0,44	44,0	3,0
150,5	1,12	35,0	4,6	1,60	1,81	8,1	2,0	0,17	0,19	48,6	4,4
192,5	0,54	43,7	5,8	2,51	2,85	6,2	4,6	0,29	0,32	52,5	3,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
4,9	1,66	11,2	12,0	1,35	1,53	32,8	13,4	4,38	4,96	11,7	40,6
20,4	5,08	17,8	5,5	0,98	1,11	17,9	2,1	0,37	0,42	24,5	2,6
50,2	1,04	29,4	8,0	2,34	2,65	11,0	5,1	0,56	0,63	38,7	2,0
100,8	2,21	27,4	4,7	1,29	1,46	11,9	6,6	0,79	0,89	36,9	5,2
151,1	1,35	31,4	9,3	2,91	3,29	10,5	6,3	0,66	0,75	39,9	3,4
192,7	0,63	33,2	2,5	0,84	0,95	9,0	1,8	0,16	0,18	43,8	0,6

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m <sup>2</sup> /W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,2	5,94	9,2	11,7	1,07	1,22	31,9	5,3	1,70	1,92	12,3	29,4
20,4	3,17	16,5	9,1	1,50	1,70	19,8	6,4	1,27	1,43	22,6	5,2
50,4	1,05	25,9	8,5	2,19	2,48	12,0	5,4	0,65	0,73	37,1	2,7
101,3	0,76	25,1	6,2	1,55	1,75	13,0	3,8	0,50	0,56	34,5	2,1
150,2	0,58	26,6	5,0	1,34	1,52	12,5	6,1	0,76	0,86	36,4	4,9
193,2	0,34	27,5	6,9	1,91	2,16	12,3	10,1	1,24	1,40	35,1	7,2

vzorek CO – PL, vazba HB (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
4,9	5,09	21,9	3,6	0,78	0,88	19,8	4,7	0,93	1,05	20,3	23,1
20,6	2,72	59,9	2,7	1,64	1,86	3,7	6,5	0,24	0,27	47,6	1,8
51,3	0,91	65,9	3,4	2,22	2,51	2,8	6,7	0,19	0,22	56,2	1,2
99,3	1,99	69,1	2,4	1,67	1,89	2,4	5,8	0,14	0,16	62,0	1,2
152,2	0,94	88,8	2,8	2,52	2,86	0,7	9,6	0,07	0,08	80,9	2,9
190,7	1,28	83,1	1,5	1,27	1,43	1,1	11,9	0,13	0,14	76,0	5,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,3	6,34	23,8	3,8	0,91	1,03	16,7	3,5	0,59	0,66	25,1	38,6
20,4	4,10	49,3	10,8	5,30	6,00	4,8	8,6	0,41	0,47	47,6	5,9
48,0	1,78	60,6	8,2	5,00	5,66	3,0	12,0	0,36	0,41	62,3	4,7
100,5	1,17	57,4	3,0	1,75	1,98	3,1	8,2	0,26	0,29	67,0	5,4
152,3	0,97	56,9	6,1	3,49	3,94	3,2	12,4	0,40	0,46	59,4	18,1
193,1	0,38	74,5	4,3	3,20	3,62	1,4	12,9	0,18	0,20	88,2	2,4

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
4,9	4,64	16,9	5,4	0,92	1,04	21,6	6,3	1,36	1,54	19,8	17,0
20,6	5,40	36,4	12,6	4,59	5,20	8,3	4,0	0,33	0,38	30,7	4,8
49,3	5,09	33,5	2,6	0,88	1,00	7,1	5,7	0,41	0,46	41,8	3,6
99,8	0,33	36,8	5,6	2,05	2,31	6,5	3,8	0,25	0,28	46,8	4,8
152,2	1,03	37,4	4,4	1,66	1,87	6,1	4,8	0,29	0,33	46,5	10,8
194,2	0,60	43,8	6,4	2,79	3,16	4,3	6,2	0,27	0,30	64,0	1,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
4,8	2,57	14,9	11,4	1,70	1,92	24,8	5,3	1,32	1,50	18,3	11,5
20,1	4,31	23,5	7,8	1,83	2,07	12,3	7,7	0,95	1,07	24,4	6,1
49,0	1,11	26,3	8,8	2,32	2,62	9,9	4,5	0,44	0,50	32,8	5,5
99,5	1,61	24,8	8,9	2,22	2,51	11,5	5,8	0,67	0,76	31,1	3,2
151,8	0,40	29,3	5,3	1,55	1,75	9,3	8,7	0,81	0,92	36,1	8,7
191,1	2,24	19,1	9,9	1,89	2,13	13,7	10,1	1,39	1,57	29,5	7,2

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
5,0	0,88	13,8	3,7	0,51	0,58	27,4	3,4	0,92	1,04	17,6	3,0
20,9	3,83	16,6	4,4	0,74	0,83	17,0	5,7	0,97	1,10	19,6	5,4
49,0	1,42	21,3	11,0	2,35	2,66	12,7	8,0	1,01	1,14	27,0	5,1
101,1	0,59	21,8	5,3	1,14	1,29	13,0	1,3	0,17	0,19	28,4	3,4
150,7	0,42	19,9	1,1	0,21	0,24	15,4	0,5	0,07	0,08	25,7	4,1
192,5	1,58	21,0	9,0	1,89	2,14	11,5	6,4	0,74	0,83	32,5	10,4

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,3	7,87	12,9	7,6	0,98	1,11	31,7	8,3	2,62	2,96	16,1	25,7
21,1	2,76	19,3	7,8	1,51	1,70	16,8	6,5	1,09	1,23	18,5	4,0
49,7	1,51	19,1	3,3	0,62	0,70	14,6	5,5	0,80	0,91	23,9	4,2
99,7	1,79	18,6	10,0	1,87	2,12	14,7	8,5	1,25	1,41	25,6	5,5
150,6	0,71	17,3	5,7	0,99	1,12	16,3	9,0	1,46	1,65	24,9	9,6
191,0	0,61	21,1	5,5	1,16	1,31	13,4	13,0	1,75	1,98	25,3	14,3

vzorek CO – PP, vazba HB (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
5,0	10,15	25,7	5,2	1,32	1,50	14,8	4,3	0,64	0,73	21,1	27,9
21,7	4,49	53,6	2,2	1,17	1,32	4,5	5,1	0,23	0,26	51,7	2,2
50,3	3,89	54,2	6,4	3,47	3,93	4,3	7,5	0,32	0,36	55,3	6,2
104,2	1,43	58,4	3,2	1,89	2,14	3,4	8,4	0,29	0,33	58,7	3,5
151,9	2,41	70,6	4,5	3,19	3,61	2,1	10,7	0,23	0,25	57,6	6,9
202,1	8,85	82,2	2,4	1,97	2,22	1,0	11,5	0,12	0,14	70,3	1,9

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,0	2,88	23,6	5,1	1,20	1,35	16,2	3,0	0,48	0,54	19,7	25,4
20,1	6,15	44,0	3,7	1,64	1,85	5,8	5,2	0,30	0,34	49,2	2,7
50,6	1,82	49,3	8,4	4,15	4,70	4,6	10,2	0,48	0,54	55,1	6,5
100,3	1,57	55,2	9,0	4,96	5,62	3,7	12,1	0,44	0,50	60,1	3,0
149,9	1,16	55,4	2,6	1,44	1,63	3,3	9,0	0,29	0,33	56,9	4,2
192,7	1,31	75,3	6,0	4,51	5,11	1,4	11,2	0,16	0,18	71,1	5,3

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
4,9	9,36	16,1	14,9	2,40	2,71	20,6	14,1	2,91	3,29	23,8	16,8
20,2	4,76	28,4	4,0	1,13	1,28	9,6	5,3	0,51	0,57	38,5	4,1
49,7	1,17	38,8	1,3	0,49	0,55	7,0	2,3	0,16	0,19	42,6	2,2
100,2	2,07	39,6	8,8	3,47	3,93	6,9	10,5	0,73	0,83	44,6	8,0
151,2	2,67	35,3	5,4	1,90	2,15	6,7	7,2	0,48	0,55	42,1	3,4
192,2	0,86	50,4	8,0	4,04	4,57	4,1	12,2	0,51	0,57	47,8	14,0

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
5,4	10,47	16,7	17,9	3,00	3,39	22,1	21,9	4,85	5,49	21,2	13,7
18,9	2,60	27,0	4,9	1,33	1,51	12,1	3,2	0,39	0,44	31,6	2,1
49,6	1,47	30,7	2,4	0,73	0,83	9,6	2,4	0,23	0,26	35,0	1,9
100,4	3,17	31,0	2,6	0,81	0,92	9,4	1,3	0,12	0,14	36,8	2,3
152,6	1,51	31,2	7,5	2,33	2,63	8,9	8,9	0,79	0,90	34,7	6,1
192,1	0,88	37,2	7,0	2,60	2,94	7,0	7,9	0,55	0,63	35,3	3,5

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
5,3	9,25	15,0	1,8	0,27	0,30	22,5	5,0	1,13	1,28	19,8	6,0
19,4	2,82	22,9	4,4	1,00	1,13	14,1	3,8	0,53	0,60	28,7	2,5
49,5	0,59	23,7	11,2	2,66	3,01	12,2	8,3	1,02	1,15	30,3	4,9
99,3	1,18	26,0	1,1	0,29	0,33	11,7	3,1	0,37	0,41	31,9	2,7
152,0	0,67	25,5	9,2	2,36	2,67	11,3	3,0	0,34	0,39	30,0	0,8
192,8	0,48	30,4	0,9	0,28	0,31	9,5	5,3	0,50	0,56	28,9	2,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,2	11,70	15,9	2,1	0,33	0,38	22,2	7,4	1,63	1,85	17,6	29,3
19,5	5,26	20,9	3,0	0,63	0,72	15,3	5,7	0,86	0,98	27,2	5,0
50,7	1,16	24,7	1,8	0,44	0,50	12,5	3,3	0,42	0,47	29,3	2,8
101,2	2,81	21,8	7,7	1,67	1,89	14,0	6,7	0,93	1,06	28,6	3,7
148,5	0,25	24,7	3,6	0,89	1,00	12,6	4,5	0,57	0,65	28,4	3,0
193,3	0,30	26,0	4,2	1,10	1,24	11,1	4,9	0,55	0,62	26,9	6,1

vzorek CO – PP, vazba Z (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m²/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
5,4	3,25	29,6	14,9	4,40	4,98	12,6	20,5	2,60	2,94	25,1	30,6
21,2	8,58	51,0	4,6	2,33	2,63	6,3	8,3	0,53	0,59	45,6	3,6
52,8	0,47	51,7	11,6	6,01	6,80	6,1	12,3	0,74	0,84	51,5	12,5
102,4	3,79	58,6	6,1	3,55	4,02	4,7	12,7	0,59	0,67	51,4	4,0
149,6	1,34	65,9	2,6	1,70	1,92	2,5	7,2	0,18	0,20	76,6	2,0
188,9	3,66	80,0	3,3	2,61	2,95	1,4	9,9	0,14	0,16	76,7	1,0

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m²/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,0	6,09	21,8	11,1	2,41	2,73	18,1	21,2	3,8	4,34	18,2	50,6
21,2	7,30	46,1	2,6	1,20	1,36	6,9	6,1	0,4	0,48	46,0	5,6
49,5	1,75	53,3	5,1	2,73	3,08	5,1	7,8	0,4	0,45	53,4	1,2
100,7	0,66	53,5	1,1	0,60	0,68	5,0	3,7	0,2	0,21	53,1	4,6
150,6	1,09	59,4	2,4	1,44	1,63	2,8	2,6	0,1	0,08	80,2	3,4
190,7	1,58	64,8	11,3	7,33	8,29	2,3	10,9	0,3	0,29	75,6	8,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m²/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
5,1	4,70	18,9	18,2	3,44	3,89	17,9	16,1	2,89	3,27	21,9	29,3
20,3	9,98	29,4	12,7	3,75	4,24	12,6	7,6	0,96	1,09	32,6	4,2
49,3	1,40	42,2	11,6	4,89	5,53	7,9	11,8	0,93	1,05	42,6	1,9
100,0	0,71	34,2	8,0	2,74	3,10	10,5	11,6	1,22	1,38	38,2	7,4
149,7	1,05	41,2	6,0	2,47	2,79	5,4	7,3	0,40	0,45	61,6	2,9
193,4	1,00	49,7	7,2	3,57	4,04	4,8	8,9	0,43	0,49	55,8	6,4

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m²/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
4,9	3,38	11,9	9,0	1,07	1,22	37,6	6,0	2,26	2,55	13,8	19,9
20,5	8,84	24,7	11,1	2,76	3,12	17,2	10,4	1,78	2,01	29,1	5,3
49,6	0,88	31,2	2,0	0,62	0,70	12,4	8,7	1,08	1,22	32,3	7,6
99,8	0,40	30,0	9,0	2,69	3,05	13,2	10,6	1,40	1,58	30,9	8,1
150,1	0,94	30,4	6,6	1,99	2,26	8,3	6,6	0,54	0,62	47,9	4,9
192,5	1,30	32,2	8,8	2,84	3,21	9,2	6,8	0,63	0,71	42,1	0,4

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m²/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
5,0	0,30	14,9	0,3	0,05	0,06	25,1	4,0	1,01	1,14	13,5	8,2
19,2	5,38	21,3	8,6	1,82	2,06	19,3	5,7	1,11	1,25	23,6	3,4
49,6	2,43	24,0	5,2	1,24	1,40	15,7	6,0	0,94	1,07	28,5	4,3
100,0	0,63	24,9	8,2	2,04	2,31	16,6	7,0	1,16	1,31	26,1	5,2
150,3	0,33	26,5	3,7	0,97	1,10	15,3	8,0	1,23	1,39	28,8	2,8
192,8	0,39	24,9	5,1	1,27	1,43	12,2	12,6	1,53	1,74	35,9	10,7

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m²/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,2	5,56	9,2	16,6	1,52	1,72	35,8	15,2	5,43	6,14	11,7	33,0
19,8	1,97	21,3	8,0	1,70	1,92	21,5	9,6	2,06	2,33	21,7	3,0
50,5	2,32	22,1	7,4	1,63	1,84	18,4	8,0	1,47	1,66	25,2	7,8
100,0	2,16	23,6	3,9	0,91	1,03	19,1	3,1	0,59	0,66	23,5	2,6
150,1	0,65	23,6	1,6	0,37	0,41	17,9	1,1	0,19	0,22	24,5	0,8
193,4	0,86	23,3	2,2	0,51	0,58	13,1	1,4	0,18	0,21	33,5	2,4

vzorek CO – CO, vazba Z (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
5,1	5,30	20,3	11,8	2,40	2,72	22,1	15,4	3,39	3,84	18,3	8,7
21,2	7,67	51,9	5,8	3,00	3,39	5,7	12,3	0,70	0,79	45,3	6,1
51,6	1,75	65,8	3,1	2,02	2,29	3,4	9,2	0,31	0,35	56,0	2,8
101,9	1,93	72,2	3,5	2,53	2,86	2,4	10,9	0,26	0,30	63,7	5,2
150,5	1,30	80,4	3,4	2,74	3,10	1,4	11,6	0,17	0,19	83,3	2,9
192,6	0,37	93,0	0,0	0,02	0,02	0,5	1,4	0,01	0,01	84,8	1,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
4,9	6,46	28,4	6,7	1,91	2,16	14,2	16,5	2,33	2,64	25,6	13,0
20,8	3,16	42,4	5,0	2,11	2,39	7,4	12,5	0,92	1,04	39,5	8,4
48,3	0,88	57,4	7,3	4,19	4,74	4,0	9,4	0,38	0,43	59,4	2,6
101,5	1,33	55,7	3,6	2,00	2,27	4,1	11,4	0,47	0,54	60,4	6,5
150,2	0,54	67,7	4,1	2,75	3,11	2,8	7,8	0,22	0,24	68,5	5,6
193,0	0,40	74,6	3,1	2,35	2,66	1,7	10,7	0,18	0,21	84,6	4,2

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
5,1	2,74	20,5	3,1	0,64	0,72	19,5	15,6	3,04	3,44	20,3	12,8
20,8	8,12	27,0	0,1	0,01	0,02	12,3	0,3	0,04	0,04	33,0	0,5
49,2	2,82	40,6	11,3	4,59	5,20	7,5	9,7	0,72	0,82	44,4	2,7
99,9	0,80	42,1	10,8	4,55	5,15	7,2	7,3	0,53	0,60	44,9	0,7
151,3	0,72	37,6	1,5	0,57	0,64	7,3	2,5	0,19	0,21	49,2	1,8
193,8	0,36	50,5	4,8	2,44	2,76	4,6	11,0	0,51	0,58	60,8	11,7

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
5,1	5,37	13,6	3,1	0,42	0,48	30,3	6,3	1,91	2,16	14,4	4,3
21,1	2,74	20,8	4,4	0,91	1,02	16,3	6,1	1,00	1,13	28,2	5,2
50,1	4,49	25,6	3,8	0,98	1,11	12,0	3,7	0,45	0,51	34,8	2,7
100,8	1,91	26,9	2,6	0,70	0,79	11,6	3,0	0,35	0,39	35,1	2,6
150,1	0,23	27,0	4,2	1,13	1,28	11,3	4,2	0,48	0,54	37,5	2,5
193,3	0,68	42,8	1,4	0,60	0,68	7,4	1,9	0,14	0,16	45,3	1,3

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
4,8	3,71	11,3	7,5	0,85	0,96	36,6	4,1	1,48	1,68	12,3	3,1
20,2	4,65	21,3	2,6	0,56	0,63	15,0	8,5	1,27	1,44	30,5	8,0
51,1	1,17	22,9	8,6	1,97	2,23	14,4	3,7	0,54	0,61	30,2	1,2
100,2	1,04	23,1	5,8	1,34	1,51	14,2	4,2	0,60	0,68	30,2	4,5
149,3	0,62	27,4	9,5	2,61	2,95	13,5	4,1	0,55	0,62	31,0	4,7
192,5	0,15	32,8	12,4	4,07	4,61	10,7	4,5	0,49	0,55	36,2	5,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,0	0,44	12,8	0,6	0,07	0,08	28,6	4,2	1,20	1,36	16,1	2,0
20,8	5,60	24,1	2,2	0,53	0,60	14,4	2,6	0,38	0,43	30,9	2,5
51,1	1,17	22,5	10,7	2,40	2,72	15,7	5,4	0,85	0,96	27,8	3,1
100,9	1,80	21,9	4,3	0,94	1,07	15,4	2,5	0,39	0,44	28,3	1,5
150,9	0,87	20,9	12,5	2,61	2,96	17,0	5,2	0,89	1,01	26,7	1,8
192,7	0,32	25,1	7,4	1,86	2,10	12,4	3,4	0,43	0,48	36,7	6,4

vzorek CO – PL, vazba Z (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
5,1	10,71	21,8	0,0	0,04	0,04	22,9	0,3	0,32	0,36	20,8	1,8
20,4	7,90	71,2	1,9	2,13	2,41	3,1	8,5	9,61	10,88	51,3	5,0
49,0	1,87	71,7	2,8	3,22	3,65	2,3	10,1	11,41	12,91	66,6	4,8
104,9	2,39	74,2	3,4	3,83	4,34	2,1	12,6	14,30	16,18	69,8	3,6
145,7	1,23	75,7	3,3	3,69	4,18	1,9	10,4	11,79	13,34	71,7	1,7
190,4	2,42	93,2	1,9	2,16	2,45	0,4	3,1	3,56	4,03	103,2	3,0

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,1	3,80	18,8	10,7	12,08	13,67	24,9	13,2	14,95	16,92	20,1	9,9
19,6	3,44	41,6	0,1	0,13	0,15	7,5	3,7	4,16	4,71	49,9	13,4
49,6	2,69	73,4	0,8	0,91	1,02	2,2	0,3	0,36	0,41	66,2	1,6
101,9	1,32	67,1	3,3	3,74	4,24	2,8	1,5	1,71	1,94	68,5	8,9
152,9	1,69	84,6	0,4	0,42	0,47	1,0	4,4	5,00	5,66	91,5	1,7
195,7	1,42	85,2	0,9	1,03	1,17	0,9	4,6	5,22	5,91	87,5	3,7

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
5,3	2,30	13,6	4,3	4,88	5,52	36,4	4,6	5,20	5,88	19,4	33,3
20,1	8,12	34,3	3,5	3,99	4,51	8,8	8,2	9,27	10,49	45,1	5,1
49,6	1,70	45,6	1,6	1,81	2,04	4,4	2,1	2,35	2,65	54,6	2,3
100,4	1,52	45,0	3,1	3,54	4,00	5,7	10,0	11,37	12,86	53,7	5,0
152,5	1,21	61,8	2,4	2,73	3,09	3,0	0,7	0,80	0,90	73,3	3,6
192,7	1,50	58,7	4,3	4,88	5,52	3,5	4,5	5,14	5,82	67,9	2,7

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
5,1	7,78	15,0	2,9	3,28	3,71	26,9	10,0	11,27	12,76	19,0	12,9
19,2	4,16	33,2	2,8	3,19	3,61	10,5	10,4	11,75	13,29	38,5	7,1
49,7	2,78	38,8	2,4	2,69	3,04	8,2	4,6	5,16	5,83	40,7	2,4
101,5	3,24	35,4	0,9	1,07	1,21	9,3	2,7	3,10	3,50	38,6	2,4
151,8	0,86	42,3	2,2	2,44	2,76	7,2	1,9	2,10	2,38	40,2	15,2
191,0	1,37	42,5	3,5	4,02	4,54	7,1	10,0	11,29	12,77	37,2	21,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
5,1	2,70	14,3	0,3	0,34	0,38	30,4	11,2	12,63	14,29	16,9	10,9
19,5	2,22	26,8	3,6	4,06	4,60	13,4	4,2	4,70	5,32	33,3	2,9
49,6	3,51	27,5	0,7	0,77	0,87	12,0	4,2	4,74	5,37	33,1	4,1
98,7	2,18	28,4	2,9	3,34	3,78	12,5	12,3	13,88	15,70	32,2	9,0
149,6	1,43	31,5	4,0	4,58	5,18	10,5	3,0	3,35	3,79	37,4	1,0
193,4	0,48	32,1	2,4	2,70	3,05	11,7	11,0	12,50	14,14	30,9	15,2

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,1	1,66	10,4	2,2	2,47	2,80	32,2	7,3	8,24	9,32	14,7	27,3
19,9	6,04	23,5	2,3	2,63	2,97	14,9	7,0	7,95	9,00	31,2	5,8
50,2	2,48	26,0	3,1	3,54	4,01	13,4	5,5	6,26	7,09	30,7	2,4
101,4	0,66	26,6	2,3	2,65	3,00	14,7	7,8	8,83	9,99	26,7	10,3
150,7	1,18	26,8	2,4	2,69	3,05	14,0	10,5	11,91	13,48	29,6	8,0
191,6	0,65	28,3	2,6	2,96	3,34	13,0	9,3	10,50	11,88	31,2	6,9



vzorek CO – PL, vazba B (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
5,6	5,76	19,9	4,7	0,93	1,05	22,5	5,0	1,12	1,27	18,4	4,2
19,8	4,00	51,5	1,8	0,92	1,04	5,0	10,4	0,52	0,58	48,2	10,2
49,2	2,10	68,4	3,7	2,51	2,85	2,5	11,9	0,30	0,34	62,2	4,3
102,7	2,24	74,8	0,6	0,46	0,52	2,1	3,2	0,07	0,08	62,9	1,0
146,0	2,71	88,8	0,2	0,20	0,23	0,7	2,9	0,02	0,02	88,8	1,6
192,1	1,47	89,8	0,6	0,52	0,59	0,6	6,7	0,04	0,05	89,1	1,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,5	9,36	10,2	0,7	0,07	0,08	44,3	0,6	0,28	0,32	11,6	17,6
20,5	1,17	48,1	6,9	3,32	3,75	4,8	11,6	0,55	0,62	50,2	4,9
49,2	1,09	62,7	4,1	2,58	2,92	3,0	11,0	0,33	0,38	61,1	4,8
100,1	3,22	67,1	1,4	0,92	1,04	2,7	2,3	0,06	0,07	62,5	1,0
146,6	2,60	69,6	1,6	1,10	1,25	2,2	7,3	0,16	0,18	74,6	6,7
192,2	1,23	89,7	5,4	4,85	5,49	0,6	45,9	0,27	0,31	87,8	12,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
4,9	5,82	11,7	14,5	1,70	1,92	27,7	13,0	3,61	4,08	17,3	22,9
20,0	4,62	38,1	8,1	3,07	3,47	7,5	1,3	0,10	0,11	38,5	3,5
49,3	1,59	48,3	3,2	1,56	1,76	4,9	1,3	0,06	0,07	48,4	3,9
99,8	0,92	48,8	4,8	2,34	2,65	5,6	7,1	0,40	0,45	46,2	5,5
148,5	0,40	58,7	7,0	4,10	4,63	3,3	9,2	0,30	0,34	68,8	1,9
195,7	1,20	55,0	4,7	2,58	2,91	3,9	20,4	0,79	0,89	57,5	15,2

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
5,1	4,16	10,0	16,1	1,62	1,83	36,3	18,3	6,65	7,52	12,5	26,9
20,6	1,29	32,5	7,8	2,53	2,86	10,0	10,4	1,04	1,18	31,5	5,3
49,4	2,75	35,9	5,5	1,97	2,23	8,0	4,8	0,39	0,44	37,6	1,7
100,4	1,50	26,2	8,7	2,29	2,59	12,7	12,4	1,57	1,78	29,6	10,2
148,7	1,39	32,8	11,5	3,78	4,27	10,4	8,3	0,86	0,97	35,7	7,5
196,4	0,74	40,6	6,0	2,45	2,77	7,3	10,6	0,78	0,88	40,9	20,8

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
5,0	4,03	9,8	5,1	0,50	0,57	46,6	6,7	3,12	3,53	10,2	5,8
20,4	6,02	24,2	9,2	2,24	2,53	12,7	8,9	1,13	1,28	27,8	5,1
50,3	2,53	25,3	3,5	0,89	1,00	11,9	6,7	0,80	0,91	28,6	4,9
100,9	1,01	28,5	2,4	0,69	0,78	14,7	9,5	1,39	1,58	23,0	15,6
152,1	0,46	32,8	7,4	2,44	2,76	11,2	5,6	0,62	0,70	33,1	2,0
192,2	0,52	30,4	12,6	3,83	4,34	10,4	10,4	1,08	1,22	36,2	11,0

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,2	7,38	12,1	1,2	0,14	0,16	35,1	4,0	1,41	1,60	12,2	13,8
20,9	8,84	22,3	13,0	2,89	3,27	14,7	7,3	1,07	1,21	23,0	12,1
50,4	3,23	25,2	3,9	0,97	1,10	13,1	7,9	1,04	1,17	27,3	7,6
100,9	0,98	22,2	10,6	2,35	2,66	16,1	13,8	2,21	2,50	24,2	10,7
150,2	0,97	22,0	8,4	1,85	2,09	16,5	12,7	2,11	2,38	25,7	8,8
192,9	0,84	23,3	4,8	1,12	1,26	14,3	0,6	0,08	0,10	27,3	15,7

vzorek CO – PP, vazba B (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
6,6	41,26	23,9	7,3	1,75	1,98	16,3	13,1	2,14	2,42	22,1	6,8
21,7	20,62	52,5	2,2	1,18	1,33	4,5	6,7	0,30	0,34	51,1	4,7
52,0	7,26	57,0	6,1	3,47	3,93	4,2	4,6	0,19	0,22	59,9	6,4
101,9	6,16	60,1	5,5	3,33	3,77	3,5	12,2	0,43	0,48	64,2	4,4
154,7	5,06	68,0	2,1	1,41	1,60	2,5	6,9	0,17	0,19	72,5	2,7
199,6	4,91	83,4	1,5	1,27	1,44	1,0	9,3	0,10	0,11	88,9	1,7

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
7,0	38,06	22,3	10,6	2,36	2,67	14,4	10,8	1,57	1,77	25,7	10,4
20,6	13,04	54,4	10,0	5,45	6,17	4,6	9,4	0,43	0,48	48,5	5,7
51,9	6,75	50,7	0,6	0,32	0,36	4,5	1,3	0,06	0,06	62,1	5,9
102,4	6,53	51,2	4,9	2,49	2,82	4,4	7,4	0,33	0,37	62,2	2,5
155,3	4,58	56,2	2,8	1,55	1,76	3,5	1,4	0,05	0,06	69,3	2,6
200,0	4,40	65,2	5,9	3,87	4,38	2,8	5,0	0,14	0,16	72,5	11,1

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
6,7	38,89	23,3	10,1	2,37	2,68	12,8	11,0	1,40	1,58	33,8	5,3
22,0	19,43	39,9	5,2	2,06	2,33	6,3	6,1	0,38	0,43	44,4	2,4
51,8	6,58	33,9	5,6	1,90	2,15	7,3	7,3	0,53	0,60	48,8	3,4
103,1	5,90	37,8	9,0	3,40	3,85	7,0	8,8	0,62	0,70	49,7	4,0
155,4	4,97	41,0	12,8	5,24	5,93	6,4	9,6	0,61	0,69	51,6	2,1
196,3	3,62	49,7	3,7	1,85	2,10	5,0	6,6	0,33	0,37	55,5	3,1

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
6,5	43,30	16,4	4,9	0,80	0,90	26,7	13,9	3,73	4,22	20,2	27,5
22,7	7,69	30,3	3,2	0,96	1,09	9,6	5,5	0,53	0,60	33,5	4,3
52,0	8,17	32,7	7,0	2,28	2,58	9,5	5,4	0,51	0,58	38,6	2,6
103,6	6,42	30,1	4,8	1,44	1,63	10,7	4,3	0,46	0,52	36,5	2,4
155,3	3,93	30,7	8,3	2,57	2,90	9,4	2,5	0,23	0,26	41,1	1,5
197,3	3,86	33,4	4,5	1,51	1,71	8,4	1,4	0,12	0,13	44,4	3,0

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
6,6	43,84	13,5	2,9	0,40	0,45	28,4	9,6	2,73	3,09	16,0	18,2
22,5	14,02	23,9	6,4	1,53	1,73	12,8	9,9	1,27	1,43	27,2	9,3
51,8	6,23	24,1	3,7	0,90	1,02	12,2	2,1	0,26	0,29	34,0	2,8
103,4	6,72	25,6	9,5	2,42	2,74	13,2	5,4	0,71	0,81	31,6	2,9
153,6	2,80	26,9	10,3	2,77	3,14	11,3	7,1	0,81	0,91	36,4	3,8
198,2	4,14	31,7	10,1	3,21	3,63	10,2	9,5	0,97	1,10	37,6	5,1

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
6,5	42,80	15,4	12,7	1,97	2,22	28,7	11,1	3,18	3,59	18,3	21,8
23,1	14,09	23,3	10,3	2,40	2,71	14,2	10,2	1,44	1,63	25,1	7,6
52,1	6,16	26,4	6,9	1,83	2,07	12,5	6,6	0,82	0,93	32,0	4,4
103,1	5,82	22,6	5,5	1,23	1,40	14,7	9,3	1,36	1,54	29,3	7,5
154,0	3,07	26,3	2,6	0,68	0,77	12,4	3,9	0,49	0,55	33,2	3,2
196,8	4,11	27,6	3,1	0,85	0,96	11,8	5,4	0,64	0,72	34,3	4,4

vzorek CO – CO, vazba B (s fólií)

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 0 mm											
5,5	8,62	15,0	2,6	0,38	0,43	35,9	3,1	1,12	1,26	18,2	46,2
21,0	4,23	47,7	3,9	1,84	2,08	6,1	7,2	0,44	0,50	45,6	3,9
50,1	3,07	61,7	3,6	2,22	2,51	3,4	8,1	0,28	0,32	62,7	6,0
101,3	0,42	66,0	2,1	1,39	1,58	3,0	6,2	0,18	0,21	62,5	2,2
151,4	1,21	82,5	1,7	1,39	1,57	1,2	8,9	0,11	0,12	78,1	1,3
194,1	0,74	83,5	0,5	0,45	0,51	1,1	4,3	0,05	0,05	79,1	2,2

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 2 mm											
5,6	8,56	30,8	0,8	0,25	0,29	11,8	5,6	0,66	0,74	25,9	57,0
19,8	2,75	41,1	7,2	2,98	3,37	6,4	9,7	0,62	0,70	49,8	9,7
51,3	1,67	52,8	5,0	2,66	3,01	3,9	11,5	0,45	0,51	67,6	7,8
101,1	0,53	59,2	5,3	3,11	3,52	3,1	11,5	0,36	0,41	72,0	3,3
150,7	2,21	63,3	1,2	0,74	0,84	2,5	3,5	0,09	0,10	77,9	1,1
193,3	0,45	65,1	0,9	0,60	0,68	2,3	1,9	0,04	0,05	80,9	3,3

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 4 mm											
5,0	4,41	22,6	17,3	3,92	4,43	17,1	1,1	0,18	0,21	22,4	36,7
20,4	0,93	35,0	7,2	2,52	2,85	9,5	7,6	0,72	0,82	36,3	2,9
50,3	2,77	33,2	3,7	1,21	1,37	7,5	3,6	0,27	0,30	49,5	2,3
99,7	1,07	44,9	8,2	3,71	4,19	5,5	3,2	0,18	0,20	53,6	3,1
150,9	1,50	35,9	2,4	0,87	0,98	6,5	5,2	0,34	0,38	52,8	4,5
192,9	0,63	53,7	6,6	3,55	4,02	3,2	8,2	0,27	0,30	71,8	24,2

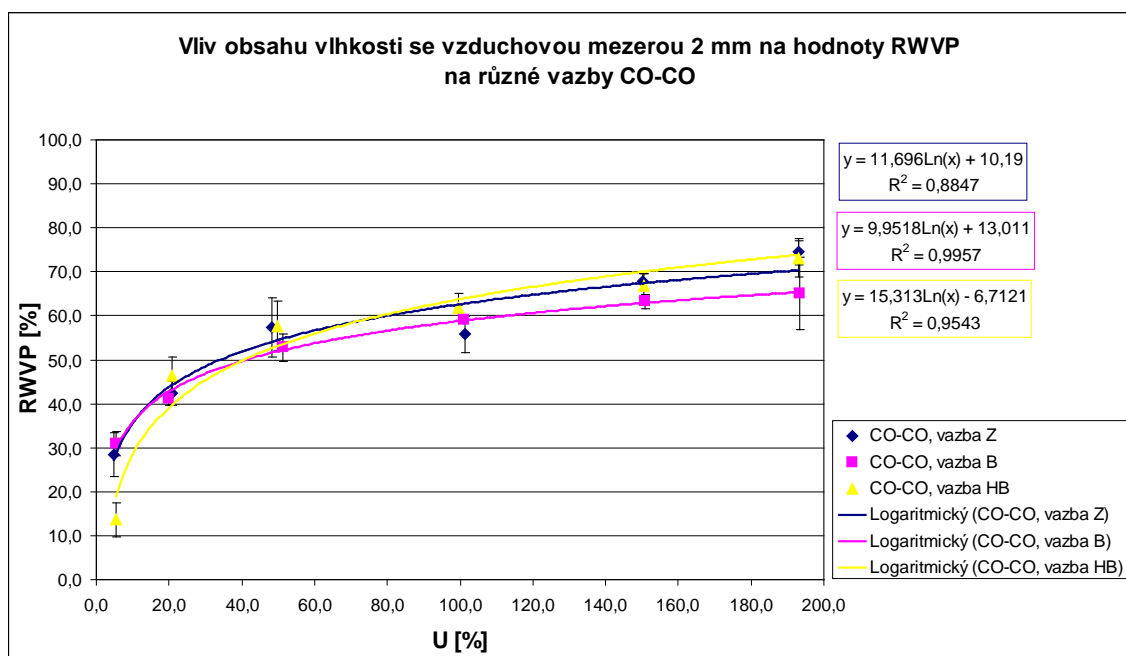
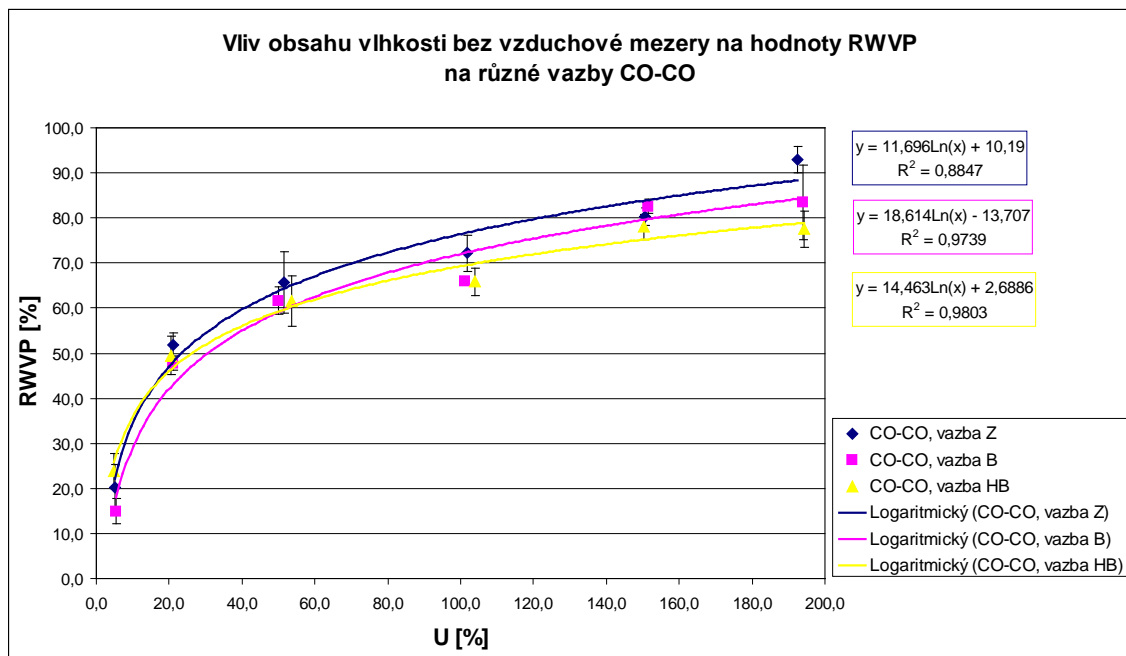
U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 6 mm											
4,9	4,49	14,5	9,6	1,39	1,58	28,3	13,9	3,95	4,46	14,9	42,3
20,8	2,60	19,6	8,1	1,59	1,80	14,3	9,9	1,41	1,60	30,1	8,1
50,9	1,52	24,1	7,2	1,74	1,97	10,8	7,2	0,77	0,87	37,5	5,0
100,3	1,51	25,7	2,9	0,74	0,84	10,2	2,9	0,30	0,33	39,6	1,9
150,7	0,38	24,7	4,1	1,02	1,15	10,7	8,5	0,90	1,02	37,9	7,2
191,8	0,56	32,3	3,5	1,13	1,28	8,0	5,0	0,40	0,46	44,5	6,0

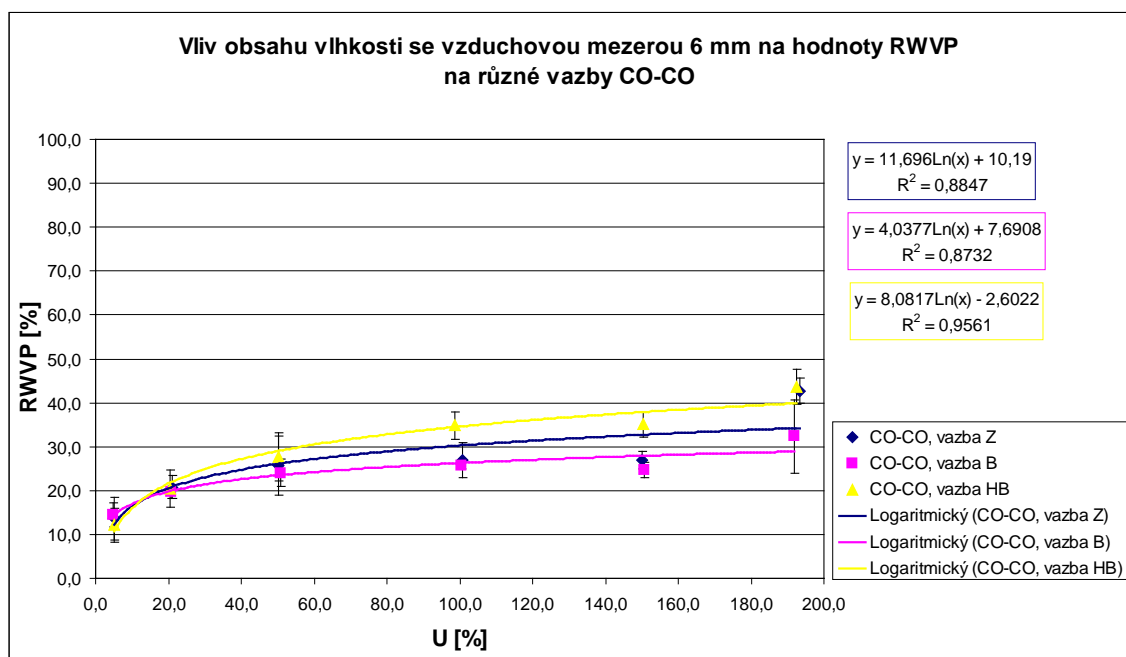
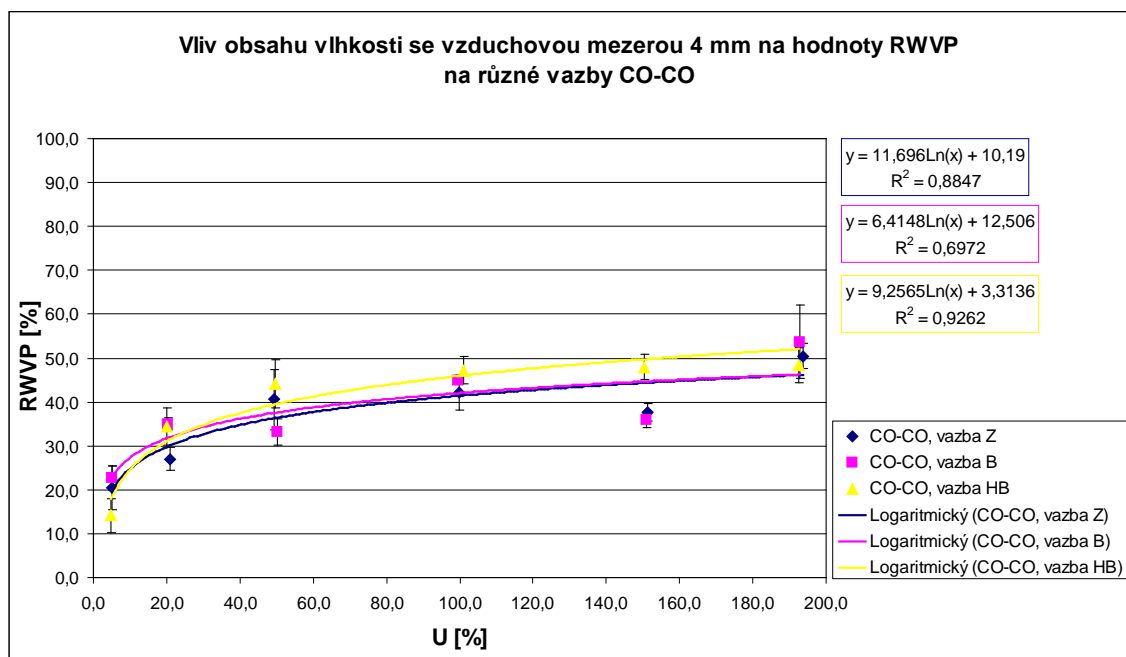
U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 8 mm											
5,2	1,84	13,8	13,1	1,80	2,04	26,1	11,5	3,01	3,40	16,7	33,2
20,2	4,15	17,9	8,7	1,55	1,76	17,6	2,8	0,49	0,56	24,7	1,5
51,6	0,63	20,7	9,2	1,91	2,16	13,2	9,0	1,18	1,34	31,9	6,7
100,4	0,99	25,8	7,9	2,05	2,32	12,7	4,4	0,56	0,63	32,1	1,9
150,8	0,46	22,2	9,4	2,08	2,35	12,6	9,1	1,15	1,30	33,2	6,8
192,8	0,36	18,1	2,4	0,44	0,50	15,0	1,6	0,23	0,26	28,3	3,0

U [%]	CV [%]	RWVP [%]	CV [%]	s [%]	conf.	Ret [Pa·m2/W]	CV [%]	s [%]	conf.	g [%]	CV [%]
h = 10 mm											
5,2	0,29	10,8	18,5	1,99	2,26	27,9	15,6	4,35	4,92	14,3	40,6
20,1	4,83	14,9	4,2	0,62	0,70	20,6	3,5	0,72	0,81	21,9	2,9
51,8	0,33	19,6	7,0	1,37	1,55	14,4	8,9	1,29	1,46	29,7	6,5
101,1	1,09	21,0	6,2	1,30	1,47	13,7	2,5	0,34	0,39	31,3	1,3
150,5	0,52	19,3	8,9	1,72	1,95	14,2	8,9	1,27	1,44	30,6	6,9
193,0	1,00	23,0	5,2	1,20	1,36	11,9	2,5	0,30	0,34	34,1	2,8

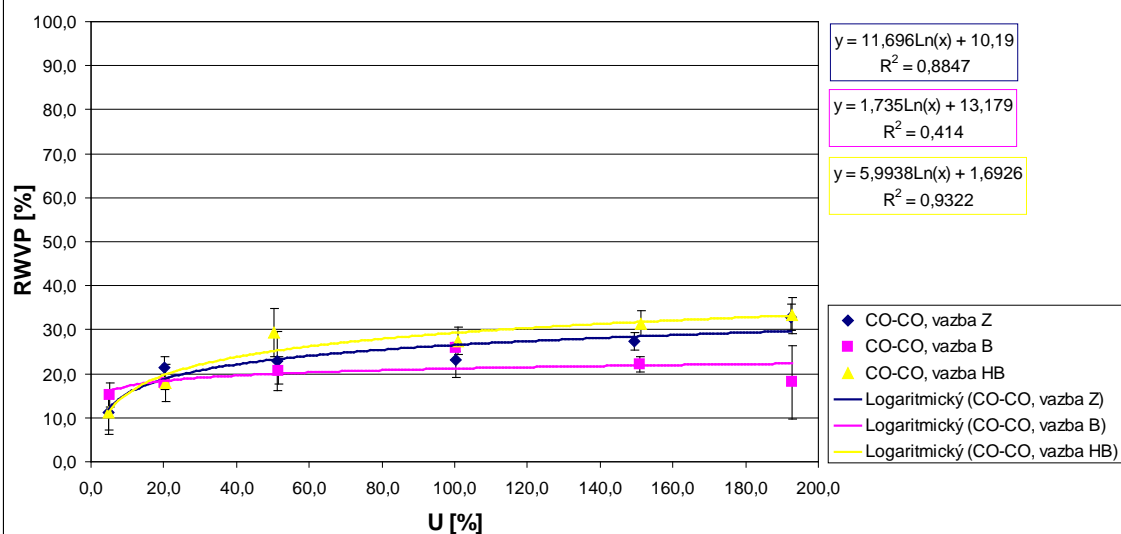
## Příloha 3

*Materiál 100% bavlna, různé vazby se vzduchovou mezerou 0,2,4,6,8 a 10 mm.*

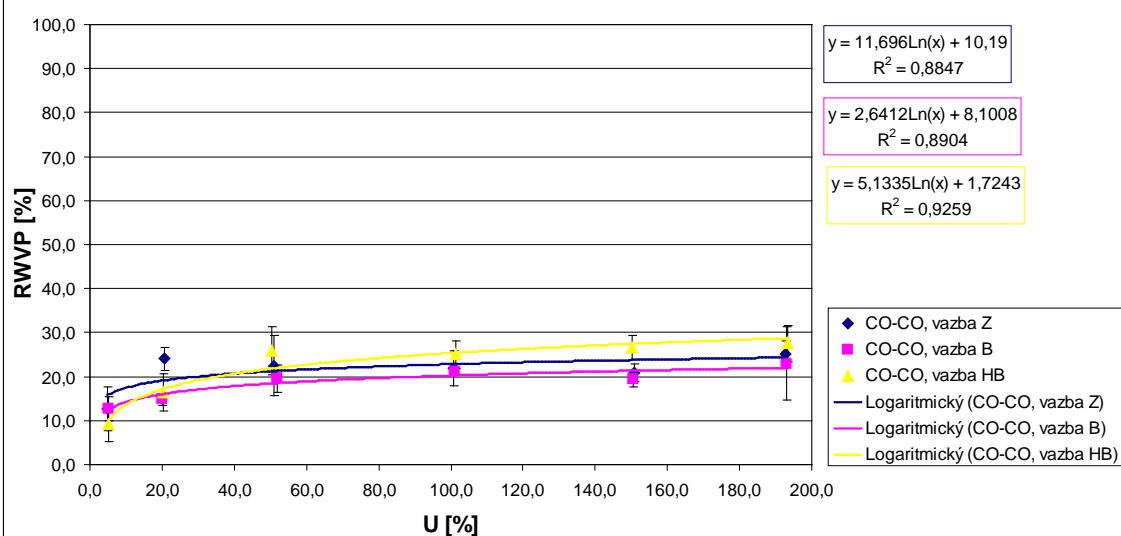




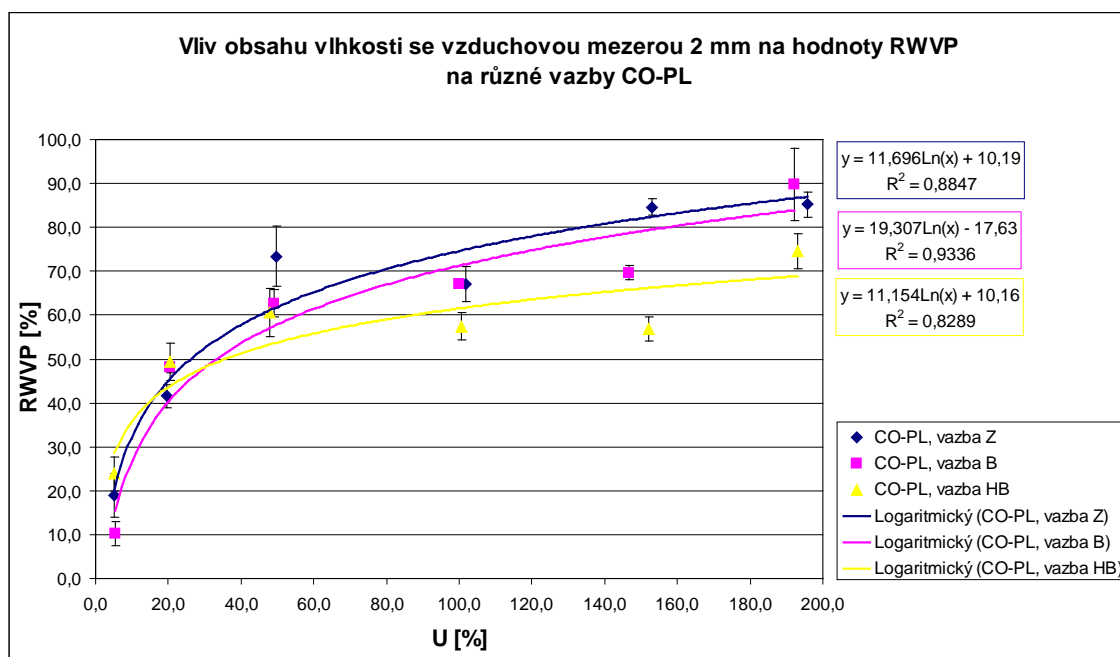
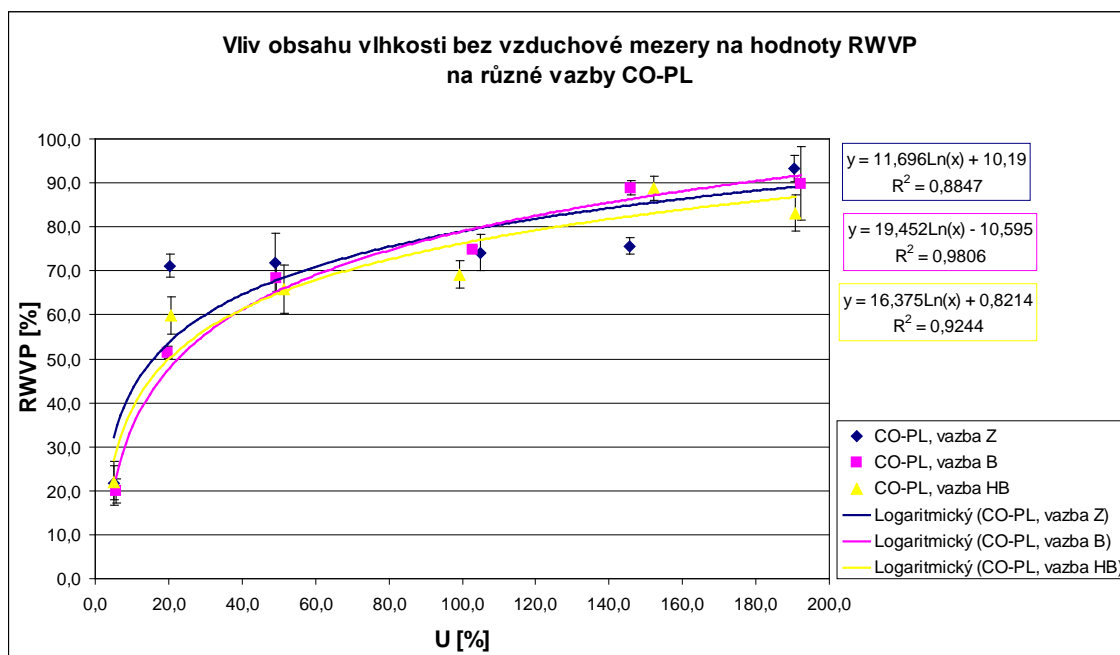
Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 8 mm na hodnoty RWVP  
na různé vazby CO-CO



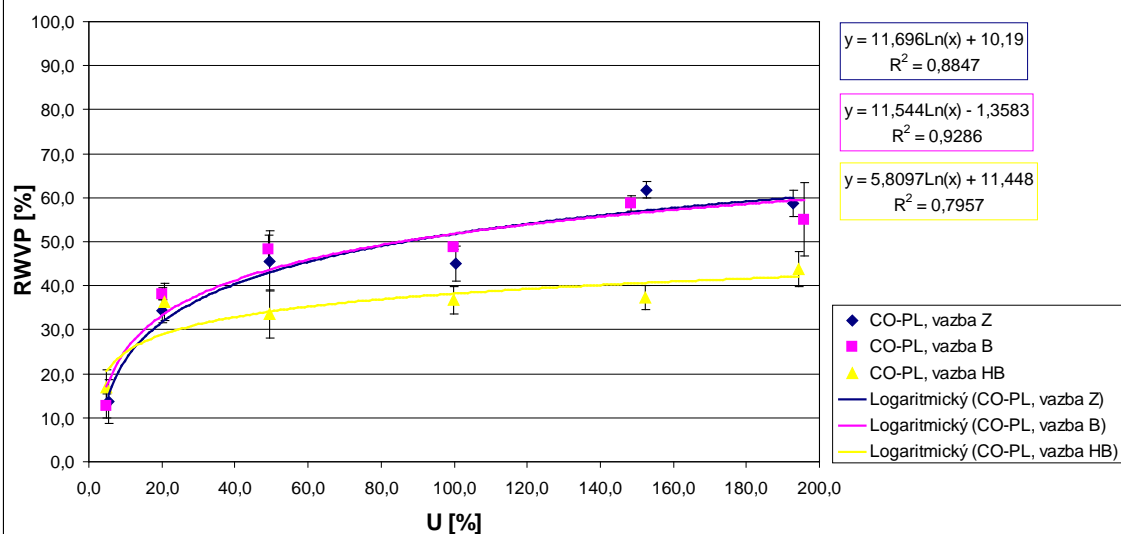
Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 10 mm na hodnoty RWVP  
na různé vazby CO-CO



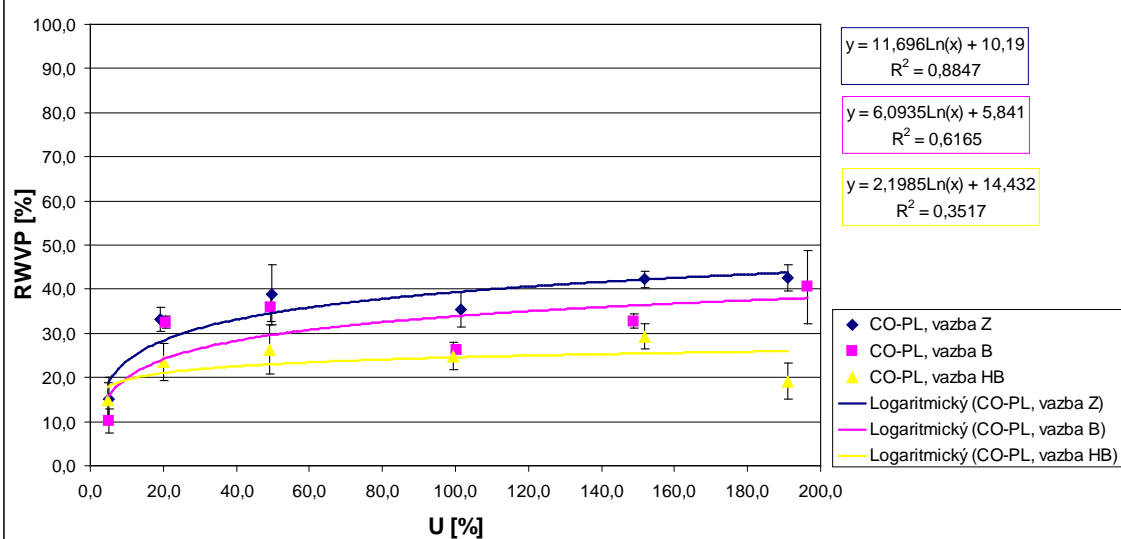
*Materiál bavlna - polyester, různé vazby se vzduchovou mezerou 0,2,4,6,8 a 10 mm.*



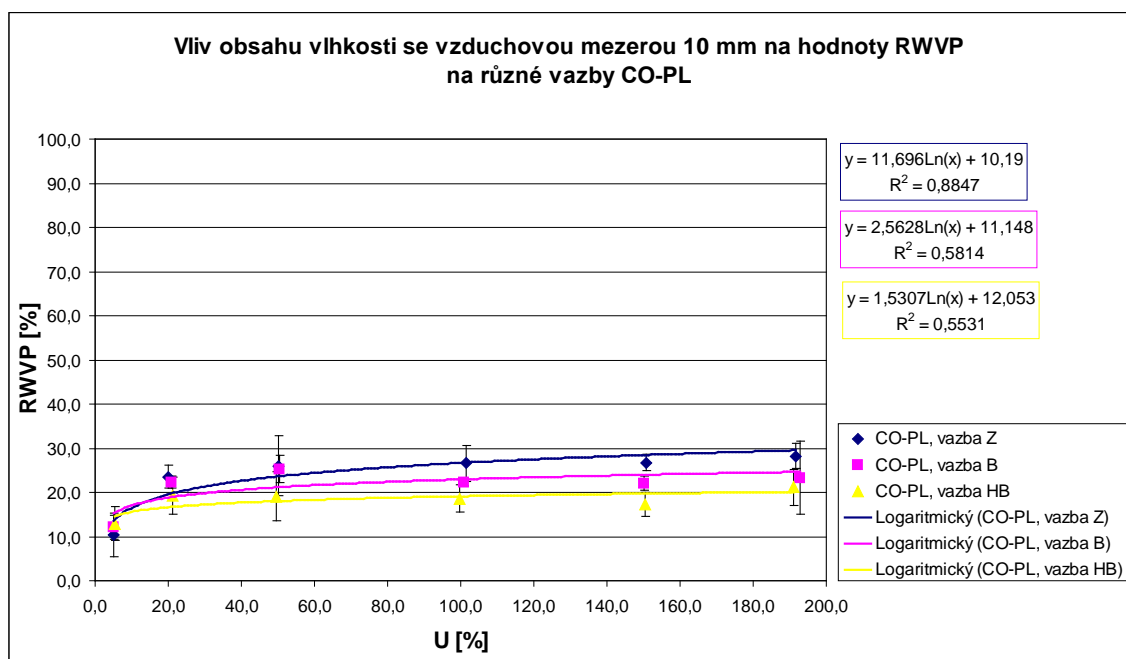
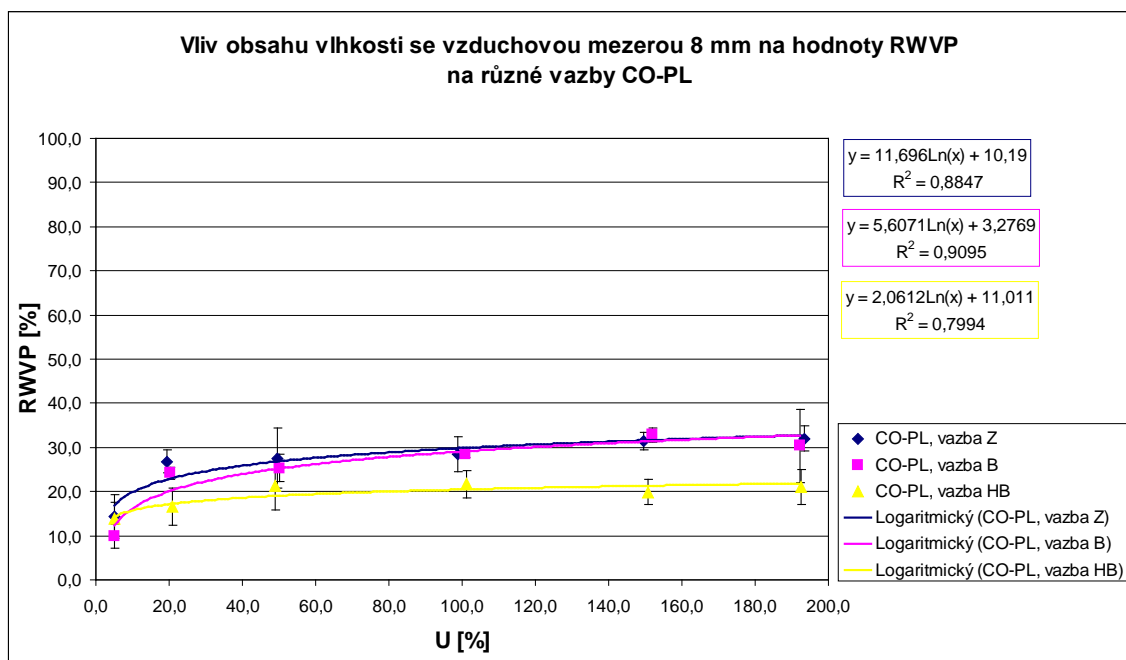
Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 4 mm na hodnoty RWVP  
na různé vazby CO-PL



Vliv obsahu vlhkosti se vzduchovou mezerou 6 mm na hodnoty RWVP  
na různé vazby CO-PL







*Materiál bavlna - polypropylen, různé vazby se vzduchovou mezerou 0,2,4,6,8 a 10 mm.*

